

Neuro-Grip

Sustainable Neuromorphic System using Organic Ferroelectric Transistors

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertaionen 2024, Industrienahe Dissertationen 2026	Status	laufend
Projektstart	01.04.2026	Projektende	31.03.2028
Zeitraum	2026 - 2028	Projektlaufzeit	24 Monate
Keywords	Sustainable, Energy efficiency, Organic Electronics, Organic Ferroelectric Transistor, Artificial synapse, bio-mimicking afferent nerve, synaptic plasticity		

Projektbeschreibung

Neuromorphe elektronische Systeme orientieren sich funktional am biologischen afferenten Nervensystem, indem sie sensorische Reize erfassen, weiterleiten und synaptisch verarbeiten. Trotz erheblicher Fortschritte existieren bislang kaum technische Lösungen, die diese Funktionskette in einem einzigen, kompakten und nachhaltigen Bauelement realisieren. Aktuelle Ansätze kombinieren meist separate Sensoren, konventionelle Elektronik und externe Verarbeitungseinheiten, was zu erhöhter Systemkomplexität, erhöhtem Energieverbrauch und eingeschränkter Skalierbarkeit führt. Zudem basieren viele neuromorphe Architekturen auf fluorierten Polymeren und energieintensiven Fertigungsprozessen, die angesichts regulatorischer Entwicklungen (PFAS-Restriktionen) und Nachhaltigkeitsanforderungen zunehmend kritisch sind.

Organische ferroelektrische Feldeffekttransistoren (OFeFETs) bieten prinzipiell die Möglichkeit, sensorische Reizerfassung und synaptische Funktionalität zu vereinen. Bisherige Single-Gate-Ansätze erlauben jedoch nur eine eingeschränkte Kontrolle von Feldverteilung, Polarisierung und synaptischer Plastizität, was reproduzierbare neuromorphe Funktionen limitiert. Es besteht daher eine klare technologische Lücke zwischen den funktionalen Anforderungen moderner flexibler Sensorik und der Verfügbarkeit nachhaltiger, integrierter neuromorpher Bauelemente.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer nachhaltigen, vollständig organischen synaptischen Transistoreinheit auf Basis von OFeFETs, die mechanische und thermische Reize neuromorph verarbeiten kann. Der wissenschaftliche Schwerpunkt liegt auf der Funktionsstufe der synaptischen Verarbeitung durch gezielte Nutzung ferroelektrischer Polarisationsdynamiken.

Der Innovationsgehalt beruht auf drei zentralen Aspekten:

- (1) der Einführung von Dual-Gate-OFeFET-Architekturen zur unabhängigen Kontrolle von Ladungstransport, Feldverteilung und synaptischer Gewichtung,
- (2) dem Einsatz biobasierter, PFAS-freier ferroelektrischer Materialien als nachhaltige Alternative zu etablierten fluorierten Polymeren,
- (3) der Kombination dieser Bauelemente mit additiven, energiearmen Fertigungsprozessen.

Damit wird erstmals eine sensorisch-neuromorphe Funktionalität in einem einzigen organischen Bauelement adressiert.

Als Ergebnis werden reproduzierbare Single- und Dual-Gate-OFeFET-Strukturen mit nachweisbarer kurz- und langfristiger synaptischer Plastizität erwartet. Die zugrunde liegenden Kopplungs- und Polarisationsmechanismen werden systematisch

untersucht und quantitativ beschrieben. Auf dieser Basis entsteht ein funktionsfähiges neuromorphes Funktionsmuster Neuro-Grip-FM, das als künstliches sensorisches Neuron dient und perspektivisch in taktilen Greifsystemen für Robotik, Prothetik und E-Skin-Anwendungen eingesetzt werden kann.

Das Projekt liefert sowohl neue wissenschaftliche Erkenntnisse zur nachhaltigen neuromorphen Hardware als auch eine skalierbare technologische Grundlage für energieeffiziente, flexible und adaptive Sensorsysteme.

Abstract

Neuromorphic electronic systems are inspired by the biological afferent nervous system, which integrates sensory perception, signal transmission and synaptic processing. Despite significant scientific progress, current technical implementations rarely realize this functional chain within a single, compact and sustainable device. Most existing approaches rely on separate sensors, conventional electronics and external processing units, resulting in increased system complexity, higher energy consumption and limited scalability. In addition, many neuromorphic architectures depend on fluorinated polymers and energy-intensive fabrication processes, which are increasingly challenged by regulatory developments such as upcoming PFAS restrictions and sustainability requirements.

Organic ferroelectric field-effect transistors (OFeFETs) offer a promising route toward integrating sensing and synaptic functionality within one device. However, existing single-gate OFeFET approaches provide only limited control over electric field distribution, polarization dynamics and synaptic plasticity, leading to poor reproducibility and restricted neuromorphic performance. Consequently, a clear technological gap exists between the functional demands of modern flexible sensor systems and the availability of sustainable, fully integrated neuromorphic hardware.

The objective of this project is the development of a sustainable, fully organic synaptic transistor unit based on OFeFET technology, capable of neuromorphic processing of mechanical and thermal stimuli. The scientific focus lies on the synaptic processing stage, exploiting ferroelectric polarization dynamics to emulate biologically inspired plasticity mechanisms.

The project's innovation is based on three key elements:

- (1) the implementation of dual-gate OFeFET architectures enabling independent control of charge transport, electric field distribution and synaptic weighting
- (2) the use of bio-based, PFAS-free ferroelectric materials as a sustainable alternative to established fluorinated polymers
- (3) the integration of these devices with additive, low-energy fabrication processes

Together, these aspects address sensor-neuromorphic integration within a single organic device for the first time.

The project is expected to deliver reproducible single- and dual-gate OFeFET structures exhibiting well-defined short-term and long-term synaptic plasticity. The underlying coupling and polarization mechanisms will be systematically investigated and quantitatively characterized. Based on these results, a functional neuromorphic functional model Neuro-Grip-FM will be realized, acting as an artificial sensory neuron with relevance for tactile gripping applications in robotics, prosthetics and electronic skin systems.

Overall, the project provides both fundamental scientific insights into sustainable neuromorphic hardware and a scalable technological foundation for energy-efficient, flexible and adaptive sensor systems.

Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH