

NEDEVS

Nanoelectronic Device Simulation

Programm / Ausschreibung	Bridge, Bridge_NATS, Bridge_NATS 2019	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.10.2020	Projektende	31.03.2024
Zeitraum	2020 - 2024	Projektlaufzeit	42 Monate
Keywords	Technology CAD, semiconductor devices, device simulation, quantum transport, MOSFET		

Projektbeschreibung

Technology-Computer-Aided-Design (TCAD) wird in der Halbleiterindustrie in praktisch allen Phasen der Entwicklung von integrierten Bauelemente eingesetzt. Moderne TCAD-Werkzeuge für den Bauelemente-Entwurf basieren auf halbklassischen Transportmodellen wie etwa dem Drift-Diffusionsmodell oder der Boltzmann-Transportgleichung. Bei fortschreitender Reduzierung der Strukturgrößen wird das Verhalten eines Bauelements jedoch zunehmend durch quantenmechanische Kurzkanaleffekte beeinflusst, wie etwa Tunneln durch Energiebarrieren und Quanteninterferenzeffekten. Da diese Effekte mit den halbklassischen Modellen nicht erfasst werden können, ist ein Übergang zu einer quantenmechanischen Transportbeschreibung erforderlich. Diese Beschreibungen unterscheiden sich durch die Zustandsfunktion, welche den Nicht-Gleichgewichtszustand der Ladungsträger im Halbleiterbauelement beschreibt. Die hier betrachteten Zustandsfunktionen sind die Dichtematrix, die Nichtgleichgewichts-Greenschen Funktionen und die Wignerfunktion. Diese Formulierungen unterscheiden sich in der Genauigkeit der physikalischen Beschreibung und dem Rechenaufwand bei der numerischen Lösung.

In diesem Projekt werden diese Quantentransportmodelle in Bezug auf ihre Anwendbarkeit auf neue Technologien und ihre Verwendbarkeit in der TCAD Simulation miteinander verglichen. Dabei sind auch die numerischen Aspekte eines jeden Modells zu berücksichtigen. Nach eingehender Analyse in der Anfangsphase des Projekts jenes Transportmodell ausgewählt, das einen guten Kompromiss zwischen physikalischer Genauigkeit und Rechenaufwand darstellt. Anschließend wird numerischer Löser für das ausgewählte Transportmodell entwickelt und an Hand von Teststrukturen validiert. Das resultierende Softwaremodul wird in den GTS Nano Device Simulator integriert. Schließlich wird der entwickelte TCAD Simulator auf neuartige Bauelemente angewendet um die Modelle und deren Parameter weiter anzupassen. Die zu untersuchenden Strukturen umfassen extrem miniaturisierte FinFETs, Nanowire- und Nanosheet-Transistoren sowie Bauelemente, deren Kanal aus einem zweidimensionalen Material aufgebaut ist, wie etwa Graphene oder MoS₂.

Abstract

Technology computer-aided design (TCAD) tools are used in semiconductor industry to assist in the development of integrated circuits at practically all stages. State-of-the-art TCAD tools for device design are based on semi-classical transport models such as the drift-diffusion model or the Boltzmann transport equation. With continuing feature size reduction, however, device behavior is affected by quantum-mechanical short channel effects, such as tunneling through

energy barriers and quantum interference effects. Since these effects cannot be captured by the semi-classical models, a transition to a quantum-mechanical transport description has to be made. Several theoretical formulations of quantum transport exist, which differ by the state function used to describe the non-equilibrium state of the charge carriers in the device.

The state functions considered here are the density matrix, the non-equilibrium Green's functions, and the Wigner function. These descriptions differ in physical accuracy and computational cost when solved numerically. In this project these quantum transport models will be analyzed with respect to their applicability to emerging technologies and their usability in device TCAD. Also the numerical aspects associated with each model have to be considered. One goal of this project is to select that transport model which represents a good trade off between physical accuracy and computational demand. A second goal is the development and validation of a numerical solver for the selected transport model. The resulting software module will be integrated in the GTS Nano Device Simulator. Finally, the developed tool will be applied to emerging devices in order to further improve the models and model parameters. Structures of interest include the FinFET in the scaling limit, nanowire transistors and the emerging nanosheet transistors, and devices with a channel formed by a two-dimensional material such as Graphene and MoS₂.

Projektkoordinator

- Technische Universität Wien

Projektpartner

- Global TCAD Solutions GmbH