

ALEXANDER MIELKE · Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) Berlin

Mathematik für Nano- und Optoelektronik

Die Entwicklung optoelektronischer Bauteile unterliegt einem enormen Innovationsdruck, der zu einer Miniaturisierung führt. Zum Verständnis und zur Optimierung solcher Bauteile sind komplexe mathematische Modelle erforderlich. Am Forschungszentrum MATHEON werden solche optoelektronischen Modelle entwickelt, analysiert und für eine effiziente numerische Simulation aufbereitet.

Telekommunikation und Datenverarbeitung beruhen derzeit wesentlich auf mikroelektronischen Bauteilen und sind in Form von Mobiltelefonen und PCs im täglichen Gebrauch. Innovationen zielen auf die Verkleinerung der Abmessungen, die Erhöhung der Taktfrequenz oder die Verringerung des Energieverbrauchs.

Zum Verständnis und zur Optimierung solcher Bauteile müssen daher komplexe Modellhierarchien vom makroskopischen bis zum quantenmechanischen Bereich beschrieben und in ihrer gekoppelten Struktur behandelbar gemacht werden.

Diese Modellhierarchien können mithilfe mathematischer Modellierung und Analysis so beherrschbar gemacht werden, dass die wesentlichen limitierenden Faktoren herausgearbeitet und gezielt einer effizienten numerischen Simulation zugeführt werden können. Durch ein solches selbstkonsistentes Simulationswerkzeug werden dann viele Experimente ersetzt, was die Optimierung des Designs wesentlich verkürzt und verbilligt.

MATHEON und Zuse-Institut Berlin

Innerhalb des Forschungszentrums MATHEON werden im Anwendungsgebiet *D Electronic and Photonic Devices* Forschungsprojekte durchgeführt, die fundamental zu diesen Fragestellungen beitragen.

Es werden Eigenschaften von optischen Fasern untersucht, nämlich die Pulsausbreitung in längslaufender Richtung und die optimale Strukturierung der Faser in senkrechter Richtung. Am Zuse-Institut Berlin (ZIB) werden

Software-Tools zur numerischen Berechnung der linearen Maxwell-Gleichungen in komplexen Metamaterialien entwickelt, die weltweit führend sind und beispielsweise beim Design photolithographischer Masken oder in Kooperationen mit den Exzellenzzentrum für Funktionale Nanostrukturen in Karlsruhe zum Einsatz kommen.

Laser- und Halbleitermodelle am WIAS

Das Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) kooperiert auf dem Gebiet der Lasertechnologie seit vielen Jahren mit physikalischen Forschungsinstituten, darunter das Heinrich-Hertz-Institut (HHI), das Ferdinand-Braun-Institut und das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB). Im Rahmen dieser Zusammenarbeit werden mittels einer am WIAS entwickelten Software dynamische Effekte in Mehrsektionslasern wie Pulsationen, Chaos, Hysterese, Erregbarkeit und Synchronisation untersucht.

Aufgrund solcher mathematischen Untersuchungen gelang es gemeinsam mit dem HHI erstmals, einen Mehrsektionslaser zu entwickeln, der die übliche Resonanz bei 10 GHz unterdrückt und so

eine Signalübertragung von 40 Gbit/s zulässt.

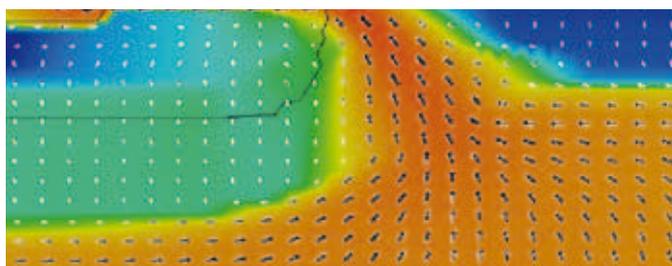
Elektronische Halbleiterbauelemente werden auf der Basis der stark nichtlinearen Energie-Drift-Diffusionsgleichungen mathematisch modelliert und können mittels der Software WIAS-TeSCA simuliert werden. Kürzlich entwickelte numerische Algorithmen garantieren auch im Diskreten wesentliche physikalische Eigenschaften wie die Positivität der Dichten und das Entropiewachstum. Somit können mit geeigneten Fehlerindikatoren bereits auf größeren Gittern technologisch relevante Ergebnisse erzielt werden.

Photovoltaik

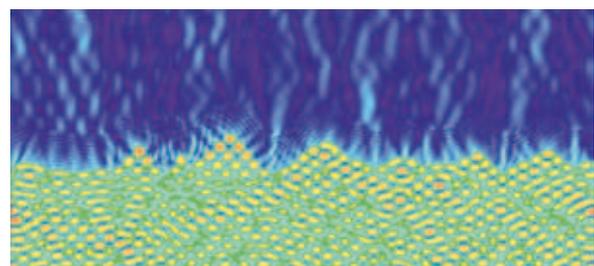
Auch in der Photovoltaik erfordert die nötige Effizienzsteigerung von Solarzellen ein integriertes Modellierungskonzept für optoelektronische Bauteile. Im Rahmen des Kompetenzzentrums *Dünn-schicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin* arbeiten Mitglieder des MATHEON gemeinsam mit Forschern am HZB an Modellen, die es erlauben, den Schichtaufbau bezüglich der Herstellungskosten, der Qualität und der Effizienz zu optimieren.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} n - \operatorname{div}(c_- \nabla n + \hat{c}_- n \nabla \varphi) &= G_{\text{phot}} - R_{\text{rekomb}}(n, p) \\ \frac{\partial}{\partial t} p - \operatorname{div}(c_+ \nabla p + \hat{c}_+ p \nabla \varphi) &= G_{\text{phot}} - R_{\text{rekomb}}(n, p) \\ \operatorname{div}(\epsilon(x) \nabla \varphi) &= d_{\text{Dotierung}} + p - n \end{aligned}$$

Drift-Diffusions-Gleichungen für die Ladungsträgerdichten n und p



WIAS-TeSCA-Simulation des Stromes in einem Transistor



Simulation zum Lichteinfang in einer Solarzelle (ZIB)