



Doctoral Thesis

Modeling nanostructured solar cells

Author(s):

Kupec, Jan

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007115243> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 19864

Modeling Nanostructured Solar Cells

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

JAN KUPEC

Dipl.-Ing. univ.

born December 5th, 1982

citizen of the Republic of Austria

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Ursula Keller, examiner

Prof. Dr. Bernd Witzigmann, co-examiner

2011

Abstract

Understanding the working principle of nanostructured photovoltaic devices requires numerical modeling of the electro-optical processes involved. In this dissertation I discuss the process of light absorption, light emission and - as a post-processing - carrier generation, recombination and transport in nanowire array solar cells. With respect to light absorption, this doctoral thesis reveals how the electromagnetic eigenvalue problem can be used to understand and design optimum light absorption in nanowire array solar cells. The proposed model yields good quantitative agreement for the geometries of interest. More importantly, however, it does provide some new physical insight. These results are original. Based on the comprehensive understanding of the absorption process, I discuss the effect of the projected local density of photon states (PLDOS) that is altered by the nanostructure in the context of a detailed balance efficiency calculation. As a last step, I propose a hybrid discrete/continuous modeling of carrier transport that is verified and discussed against industry strength drift/diffusion simulations. This hybrid approach constitutes an extension of similar models discussed in contemporary scientific literature and yields a good qualitative understanding of the device.

As nanowire photovoltaic absorbers are a vividly evolving field of research, this doctoral thesis also discusses the state-of -the-art of modeling nanostructured solar cell at the beginning of my doctoral studies in 2008 as well as concurrent scientific results obtained during my work in the years up to 2011.

Zusammenfassung

Verständnis für die Funktionsweise von nanostrukturierten photovoltaischen Bauelementen verlangt nach numerischer Modellierung der elektro-optischen Vorgänge, die involviert sind. In dieser Dissertation diskutiere ich Lichtabsorption, Emission und - als abschliessenden Schritt - Trägererzeugung, Rekombination und Transport in Nanowire-Solarzellen.

In Bezug auf Absorption, zeigt diese Dissertation auf wie das elektromagnetische Eigenwertproblem verwendet werden kann um Verständnis zu erzeugen und optimale Nanowire-Array Solarzellen zu entwerfen. Das vorgestellte Modell zeigt gute quantitative Übereinstimmung für die Entwürfe von Interesse. Viel wichtiger jedoch ist, dass das Modell ein neues physikalisches Verständnis aufzeigt. Dieses Resultat entspringt ursprünglich meiner Arbeit. Auf Basis einer tiefgründigen Analyse der Absorption, diskutiere ich den Effekt der lokalen Photonenzustandsdichte, welche durch die Nanostrukturierung modifiziert wird, im Kontext einer Shockley-Queisser Effizienz Analyse. Als abschliessenden Schritt schlage ich ein hybrides diskret/kontinuierliches Modell zum Ladungsträgertransport vor, welches mit industriellen-Drift/Diffusionssimulationen verglichen wird. Dieses Modell ist eine Erweiterung ähnlicher Modelle aus der gegenwärtigen wissenschaftlichen Literatur und fördert gutes qualitatives Verständnis.

Weil die Analyse von Nanowire-Absorbern ein sich lebhaft entwickelnder Wissenschaftszweig ist, diskutiert diese Dissertation auch den Wissensstand zu Beginn der der Arbeit im Jahre 2008 sowie gleichzeitig ablaufende und publizierte Forschung anderer Gruppen bis in das Jahr 2011 hinein.