

Literaturverzeichnis

- [AboElSoud93] A.M. Abo El Soud, H.A. Zayed und L.I. Soliman: *Transport properties of CuInS₂, CuInSe₂ and CuInTe₂ thin films*. Thin solid films, **229**, 232-236, **1993**.
- [Albrecht91] T. Albrecht, P. Grütter und D. Rugar: *Frequency Modulation Detection using High-Q Cantilevers for enhanced Force Microscope Sensitivity*. J. Appl. Phys., **69** (2), 668, **1991**.
- [Baccarani78] G. Baccarani, B. Ricco und G. Spadini: *Transport properties of polycrystalline silicon films*. J. Appl. Phys., **49** (11), 5565, **1978**.
- [Bär01] M. Bär, H.-J. Muffler, C.-H. Fischer und M.C. Fischer: *ILGAR thin film technology extended to metal oxides*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **67** (1-4), 113, **2001**.
- [Bär02] M. Bär, H.-J. Muffler, C.-H. Fischer, S. Zweigart, F. Karg und M.C. Lux-Steiner: *ILGAR-ZnO Window Extension Layer: An Adequate Substitution of the Conventional CBS-CdS Buffer in Cu(In,Ga)(S,Se)₂-based Solar Cells with Superior Device Performance*. Progr. Photovolt., **10** (3), 173-84, **2002**.
- [Bauknecht99] A. Bauknecht: *CuGaSe₂ für die Anwendung in der Photovoltaik*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **1999**.
- [Blakemore62] J.S. Blakemore: *Semiconductor Statistics*. Pergamon Press, Oxford, **1962**.
- [Blieske97] U. Blieske, V. Dieterle, I. Hengel, C. Kaufmann, R. Klenk und M.C. Lux-Steiner: *Loss analysis and modification of CuInS₂ based solar cells*. Proc. 14th European PVSEC, Barcelona, Spain, 2135-2138, **1997**.
- [Braunger96a] D. Braunger, T. Dürr, D. Hariskos, C. Kooble, T. Walter, N. Wieser und H.W. Schock: *Improved open circuit voltage in CuInS₂-based solar cells*. Proc. 25th IEEE PVSC, Washington DC, USA, 1001-1004, **1996**.
- [Braunger98] D. Braunger, M. Flassak, D. Hariskos, R. Herberholz und H.W. Schock: *Improvement of the Interface Properties of CuInS₂-based solar cells by Admixture of Zn*. Proc. 11th ICTMC, Bristol, UK, 715-18, **1998**.
- [Braunger96b] D. Braunger, D. Hariskos, T. Walter und H.W. Schock: *An 11.4 % efficient polycrystalline thin film solar cell based on CuInS₂ with a Cd-free buffer layer*. Sol. Energ. Mat. Sol. C., **40**, 97-102, **1996**.
- [Bube92] R.H. Bube: *Photoelectronic properties of semiconductors*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, **1992**.
- [Burgelman97] M. Burgelman, F. Engelhardt, J. Guillemoles, R. Herberholz, M. Igalson, R. Klenk, M. Lampert, T. Meyer, V. Nadenau, A. Niemegeers, J. Oarisi, U. Rau, H.W. Schock, M. Schmitt, O. Seifert und T. Walter: *Defects in Cu(In, Ga)Se₂ Semiconductors and their Role in the Device Performance of Thin-Film Solar Cells*. Progr. Photovolt., **5**, 121-130, **1997**.

- [Burgelman99] M. Burgelman, P. Nollet und S. Degrave: *Modeling Polycrystalline Semiconductor Solar Cells*. Proc. EMRS 1999, *Strasbourg, France*, O-VII.3, **1999**.
- [Burgers96] A.R. Burgers, J.A. Eikelboom, A. Schönecker und W.C. Sinke: *Improved Treatment of the Strongly Varying Slope in Fitting Solar Cell I-V Curves*. Proc. 25th IEEE PVSC, *Washington DC, USA*, 569, **1996**.
- [Buturla81] E.M. Buturla, P.E. Cotrell, B.M. Grossmann und K.A. Salzburg: *Finite-Element Analysis of Semiconductor Devices: The FIELDAY Program*. IBM J.Res. Develop., **25** (4), 218-231, **1981**.
- [Chynoweth61] A.G. Chynoweth und W.L. Feldmann: *Excess Tunnel Current in Silicon Esaki Junctions*. Phys. Rev., **121** (3), 684-694, **1961**.
- [Contreras99] M.A. Contreras, B. Egaas, K. Ramanathan, J. Hiltner, A. Swartzlander, F. Hasoon und R. Noufi: *Progress towards 20% efficiency in Cu(In,Ga)Se₂ polycrystalline thin-film solar cells*. Prog. Photovoltaics, **7**, 311-316, **1999**.
- [Dhere01] N.G. Dhere und S.E. Ghongadi: *CIGS₂ Thin Film Solar Cells On Stainless Steel Foil*. Materials Research Society Spring Meeting, *San Francisco, California, USA*, **668**, H3.4.1., **2001**.
- [Dylla00] T. Dylla: *Charakterisierung von CuGaSe₂-Dünnschicht-Solarzellen hergestellt mit chemischer Gasphasenabscheidung*. Diplomarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, *Berlin*, **2000**.
- [Eisele02] W. Eisele: *Struktur und Funktion von ZnSe-Pufferschichten in Chalkopyritdünnschichtsolarzellen*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, *Berlin*, **2002**.
- [Eisgruber97] I.L. Eisgruber, J.E. Granata, R.J. Sites und J.Kessler: *Blue Photon modification of nonstandard diode barrier in CuInSe₂*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **53**, 367-377, **1998**.
- [Engelhardt98] F. Engelhardt, M. Schmidt, T. Meyer, T. Meyer, J. Parisi und U. Rau: *Metastable electrical transport in Cu(In,Ga)Se₂ thin films and ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ heterostructures*. Phys. Lett. A, **245**, 489-493, **1998**.
- [Eron84] M. Eron und A. Rothwarf: *Effects of a voltage-dependent light-generated current on solar cell measurements: CuInSe₂/Cd(Zn)*. Appl. Phys. Lett., **57** (1), 131-133, **1984**.
- [Fahrenbruch83] A.L. Fahrenbruch und R.H. Bube: *Fundamentals of Solar Cells*. Academic Press, *New York*, **1983**.
- [Fiechter00] S. Fiechter, Y. Tomm, K. Diesner und T. Weiss: *Homogeneity ranges, defect phases and defect formation energies in A^{IB}III^{CVI}2 chalcopyrites (A=Cu; B=Ga,In; C=S,Se)*. Proc. 12th ICTMC, *Taiwan*, **2000**.
- [Furlong98] M.J. Furlong, M. Froment, M.C. Bernard, R. Cortes, A.N. Tiwari, M. Krejci, H. Zogg und D. Lincot: *Aqueous solution epitaxy of CdS layers on CuInSe₂*. J. Cryst. Growth, **193** (1-2), 114-122, **1998**.

- [Gajewski92] H. Gajewski, B. Heinemann, H. Langmach, G. Telschow und K. Zacharias: *ToSCA Handbuch*. Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS), Berlin, **1992**.
- [Gärtner59] W.W. Gärtner: *Depletion-Layer Photoeffects in Semiconductors*. Phys. Rev., **116** (1), 84, **1959**.
- [Glatzel00] T. Glatzel: *Kelvinsondenkraftmikroskopie im Ultrahochvakuum*. Diplomarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **2000**.
- [Green82] M.A. Green: *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*. University of New South Wales, Kensington, NSW, Australia, **1982**.
- [Griffiths95] D.J. Griffiths: *Introduction to Quantum Mechanics*. Prentice-Hall International, London, **1995**.
- [Grimm26] H.G. Grimm und A. Sommerfeld: *Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit den chemischen Valenzzahlen*. Zeitschrift für Physik, **36**, 36, **1926**.
- [Haines80] W.G. Haines und R.H. Bube: *Tunneling Currents in the Copper Sulfide/Cadmium Sulfide Heterojunction*. IEEE Trans. Electron Devices, **27** (11), 2133, **1980**.
- [Harrison86] W.A. Harrison und J. Tersoff: *Tight-binding theory of heterojunction band lineups and interface dipoles*. J. Vac. Sci. Technol. B, **4** (4), 1068, **1986**.
- [Hengel00b] I. Hengel: *Ladungsträgertransport und Rekombinationsmechanismen in Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **2000**.
- [Hengel00a] I. Hengel, A. Neisser, R. Klenk und M.C. Lux-Steiner: *Current Transport in CuInS₂:Ga/CdS/ZnO-Solar Cells*. Thin Solid Films, **361-362**, 458-462, **2000**.
- [Hunger01] R. Hunger, C. Pettenkofer und R. Scheer: *Surface properties of (111), (001), and (110)-oriented epitaxial CuInS₂/Si films*. Surf. Sci., **477**, 76-93, **2001**.
- [Hurkx92] G.A.M. Hurkx, D.B.M. Klaassen und M.P.G. Knuvers: *A new recombination model for device simulation including tunneling*. IEEE Trans. Electron Devices, **39** (2), 331-338, **1992**.
- [Igalson00b] M. Igalson: *Deep Levels And Space Charge Distribution in Cu(In,Ga)Se₂ Photovoltaic Devices*. Proc. 12th ICTMC, Taiwan, **2000**.
- [Igalson01] M. Igalson, A. Kubiacyk und P. Zabierowski: *Deep centers and fill factor losses in the CIGS devices*. Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, California, USA, **668**, H9.2, **2001**.
- [Igalson96] M. Igalson und H.W. Schock: *The metastable changes of the trap spectra of CuInSe₂-based photovoltaic devices*. J. Appl. Phys., **80** (10), 5765-5769, **1996**.
- [Igalson00a] M. Igalson und P. Zabierowski: *Transient Capacitance Spectroscopy of Defect Levels in CIGS Devices*. Thin Solid Films, **361-362**, 371-377, **2000**.
- [Jaffe83] J.E. Jaffe und A. Zunger: *Electronic structure of the ternary chalcopyrite semiconductors CuAlS₂, CuGaS₂, CuInS₂, CuAlSe₂, and CuInSe₂*. Phys. Rev. B, **28** (10), 5822-5847, **1983**.

- [Kaigawa02] R. Kaigawa, A. Neisser, R. Klenk und M.C. Lux-Steiner: *Improved performance of thin film solar cells based on Cu(In,Ga)S₂*. Thin Solid Films, **415**, 266, **2002**.
- [Kazmerski75] L.L. Kazmerski, M.S. Ayyagari und G.A. Sanborn: *CuInS₂ thin films: Preparation and properties*. J. Appl. Phys., **46** (11), 4865, **1975**.
- [Kelvin98] L. Kelvin: *Contact electricity of metals*. Phil. Mag., **46**, 82, **1898**.
- [Kessler01] J. Kessler, M. Bodegard, J. Hedström und L. Stolt: *Baseline Cu(In,Ga)Se₂ Device Production: Control and Statistical Significances*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **67**, 67-76, **2001**.
- [Kikukawa95a] A. Kikukawa, S. Hosaka und R. Imura: *Silicon pn junction imaging and characterizations using sensitivity enhanced Kelvin probe force microscopy*. Appl. Phys. Lett., **66** (25), 3510, **1995**.
- [Kikukawa95b] A. Kikukawa, S. Hosaka und R. Imura: *Vacuum compatible high sensitive Kelvin probe force microscopy*. Rev. Sci. Instrum., **67** (4), 1463, **1995**.
- [Kimura01] M. Kimura, S. Inoue, T. Shimoda und T. Sameshima: *Device Simulation of Carrier Transport through Grain Boundaries in Lightly Doped Polysilicon Films and Dependence on Dopant Density*. Jpn. J. Appl. Phys. 1, **40** (9A), 5237-5243, **2001**.
- [Klaer98a] J. Klaer, J. Bruns, R. Henninger, K. Siemer, R. Klenk, K. Ellmer und D. Bräunig: *Efficient CuInS₂ thin-film solar cells prepared by a sequential process*. Semicond. Sci. Technol., **13**, 1456-1458, **1998**.
- [Klaer98b] J. Klaer, J. Bruns, R. Henninger, K. Töpfer, R. Klenk, K. Ellmer und D. Bräunig: *A tolerant two step process for efficient CuInS₂ solar cells*. Proc. 2nd World PVSEC, Vienna, Austria, **1998**.
- [Klaer02] J. Klaer, I. Luck, A. Boden, R. Klenk, I.G. Perez und R. Scheer: *Mini-Modules from a CuInS₂ Baseline Process*. Thin Solid Films, (präsentiert auf EMRS 2002), wird veröffentlicht, **2002**.
- [Klaer01] J. Klaer, K. Siemer, I. Luck und D. Bräunig: *9.2% efficient CuInS₂ mini-module*. Thin Solid Films, **387** (1-2), 169, **2001**.
- [Klein99] A. Klein und W. Jaegermann: *Fermi-level-dependent defect formation in Cu-chalcopyrite semiconductors*. Appl. Phys. Lett., **74** (16), 2283, **1999**.
- [Klenk01] R. Klenk: *Characterisation and Modelling of Chalcopyrite solar Cells*. Thin Solid Films, **387** (1-2), 135-140, **2001**.
- [Klenk97] R. Klenk, U. Blieske, V. Dieterle, K. Ellmer, S. Fiechter, I. Hengel, A. Jäger-Waldau, T. Kampschulte, C. Kaufmann, J. Klaer, M.C. Lux-Steiner D. Hariskos, M. Ruckh und H.W. Schock: *Properties of CuInS₂ thin films grown by a two-step process without H₂S*. Sol. Energ. Mat. Sol. C., **49**, 349-356, **1997**.
- [Klenk93] R. Klenk, T. Walter und H.W. Schock: *A model for the successful growth of polycrystalline films of CuInSe₂ by multisource physical vacuum evaporation*. Adv. Mater., **5** (2), 114-119, **1993**.

- [Kneisel00] J. Kneisel, K. Siemer, I. Luck und D. Bräunig: *Admittance spectroscopy of efficient CuInS₂ thin film solar cells*. J. Appl. Phys., **88** (9), 5474, **2000**.
- [Kochan80] B. Kochan: *Current-carrier transport in semiconducting heterojunctions. Part I. Transport mechanisms*. Mat. Sci., **6** (4), 141-159, **1980**.
- [Kronik95] L. Kronik, L. Burstein, M. Leibovitch, Y. Shapira, D. Gal, E. Moons, J. Beier, G. Hodes, D. Cahen, D. Hariskos, R. Klenk und H.-W. Schock: *Band diagram of the polycrystalline CdS/Cu(In,Ga)Se₂ heterojunction*. Appl. Phys. Lett., **67** (10), 1405, **1995**.
- [Landoldt-Börnstein85] Landoldt-Börnstein: *Halbleiter. Physik der ternären Verbindungen*. K. H. Hellwege and O. Madelung, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, **17 h**, **1985**.
- [Landsberg57] P.T. Landsberg: *A contribution to the Recombination Statistics of Excess Carriers in Semiconductors*. Proc. Phys. Soc., **B70**, 282, **1957**.
- [Luque97] A. Luque und A. Marti: *Increasing the Efficiency of Ideal Solar Cells by Photon Induced Transitions at Intermediate Levels*. Phys. Rev. Lett., **78** (26), 5014, **1997**.
- [Malmström01] J. Malmström, J. Wennerberg, M. Bodegard und L. Stolt: *Influence of Ga on the Current Transport in Cu(In,Ga)Se₂ Thin Film Solar Cells*. Proc. 17th EC PVSEC, Munich, Germany, VB 1.74, **2001**.
- [Miyachi73] T. Miyachi, N. Yamamoto, Y. Hamakawa und T. Nishino: *Composition Dependence of Band Gaps of Cu(Ga_{x-1}In_x)S₂* Jpn. J. Appl. Phys. 1, **12** (4), 606, **1973**.
- [Morkel01] M. Morkel, L. Weinhardt, B. Lohmüller, C. Heske, E. Umbach, W. Riedl, S. Zweigart und F. Karg: *Flat conduction-band alignment at the CdS/CuInSe₂ thin-film solar-cell heterojunction*. Appl. Phys. Lett., **79** (27), 4482, **2001**.
- [Muffler00] H.-J. Muffler, M. Bär, C.-H. Fischer, R. Gay, F. Karg und M.C. Lux-Steiner: *Sulfidic Buffer Layers for Cu(In,Ga)(Se,S)₂ Solar Cells Prepared by Ion Layer Gas Reaction (ILGAR)*. Proc. 28th IEEE PVSC, Anchorage, USA, **2000**.
- [Muffler01] H.-J. Muffler, C.-H. Fischer, K. Diesner und M.C. Lux-Steiner: *ILGAR - A novel thin film technology for sulfides*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **67** (1-4), 121, **2001**.
- [Müller95] R. Müller: *Grundlagen der Halbleiter-Elektronik*. In Halbleiter-Elektronik: R. Müller, Springer Verlag, Berlin, **I**, **1995**.
- [Murphy56] E.L. Murphy und R.H. Good: *Thermionic Emission, Field Emission, and the Transition Region*. Phys. Rev., **102** (6), 1464, **1956**.
- [Nadenau00] V. Nadenau, U. Rau, A. Jasenek und H.W. Schock: *Electronic Properties of CuGaSe₂-based heterojunction solar cells. Part I. Transport analysis*. J. Appl. Phys., **87** (1), 584-593, **2000**.
- [Nakanishi94] T. Nakanishi und K. Ito: *Properties of chemical bath deposited CdS thin films*. Sol. Energ. Mat. Sol. C., **35**, 171-178, **1994**.

- [Neisser01a] A. Neisser: *Gallium as an Isovalent Substitution in CuInS₂ Absorber Layers for Photovoltaic Applications*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **2001**.
- [Neisser01b] A. Neisser, I. Hengel, R. Klenk, T.W. Matthes, J. Alvarez-Garcia, A. Perez-Rodriguez, A. Romano-Rodriguez und M.C. Lux-Steiner: *Effect of Ga incorporation in sequentially prepared CuInS₂ Thin Film Absorbers*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **67**, 97-104, **2001**.
- [Neumann81] H. Neumann, W. Hörig, V. Savalev, J. Lagzdonis, B. Schuhmann und G. Kühn: *The optical properties of CuInS₂ thin films*. Thin Solid Films, **79**, 167, **1981**.
- [Niemegeers96] A. Niemegeers und M. Burgelman: *Numerical Modelling of ac-Characteristics of CdTe and CIS Solar Cells*. Proc. 25th IEEE PVSC, Washington DC, USA, 901-904, **1996**.
- [Ohashi98] T. Ohashi, M. Wakamori, Y. Hashimoto und K. Ito: *Cu(In_{1-x}Ga_x)S₂ Thin Films Prepared by Sulfurization of Precursors of Metallic and Gallium Sulfide Layers*. Jpn. J. Appl. Phys. 1, **37** (12A), 6530, **1998**.
- [Orton81] J.W. Orton, B.J. Goldsmith, J.A. Chapman und M.J. Powell: *The mechanism of photoconductivity in polycrystalline cadmium sulphide layers*. J. Appl. Phys., **53** (3), 1602, **1981**.
- [Orton80] J.W. Orton und M.J. Powell: *The Hall effect in polycrystalline and powdered semiconductors*. Rep. Prog. Phys., **43**, 1263, **1980**.
- [Özsan94] M.E. Özsan, M. Sadeghi, D. Sivapathasundaram, L.M. Peter, M.J. Furlong, G. Goodlet, A. Shingleton, D. Lincot, B. Mokili und J. Vedel: *Optical and electrical characterization of chemically deposited cadmium sulfide thin films*. Proc. 1st World PVSEC, Hawaii, USA, 327-330, **1994**.
- [Padovani71] F.A. Padovani: *The Voltage-Current Characteristic of Metal-Semiconductor Contacts*. In Semiconductors and Semimetals: Applications and Devices. R. K. Willardson, Academic Press, New York, **7B**, 75-146, **1971**.
- [Padovani66] F.A. Padovani und R. Stratton: *Field and thermionic-field emission in schottky barriers*. Solid State Electronics, **9**, 695-707, **1966**.
- [Petritz56] R.L. Petritz: Phys. Rev., **104**, 1508, **1956**.
- [Phillips97] J.E. Phillips, J. Titus und D. Hofmann: *Determining the voltage dependence of the light generated current in CuInSe₂ -based solar cells using I-V measurements made at different light intensities*. Proc. 26th IEEE PVSC, Anaheim, California, USA, 463, **1997**.
- [Press92] W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling und B.P. Flannery: *Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, Cambridge, 2. überarbeitete Ausgabe, **1992**.
- [Rau99b] U. Rau: *Tunneling-enhanced recombination in Cu(In,Ga)Se₂ heterojunction solar cells*. Appl. Phys. Lett., **74** (1), 111, **1999**.
- [Rau99a] U. Rau, D. Braugner, R. Herberholz, H.W. Schock, J.-F. Guillemoles, L. Kronik und D. Cahen: *Oxygenation and air-annealing effects on the electronic properties of Cu(In,Ga)Se₂ films and devices*. J. Appl. Phys., **86**, 497, **1999**.

- [Rau00] U. Rau, A. Jasenek, H.W. Schock, F. Engelhardt und T. Meyer: *Electronic loss mechanisms in chalcopyrite based heterojunction solar cells*. Thin Solid Films, **361-362**, 298-302, **2000**.
- [Rau01b] U. Rau und M. Schmidt: *Electronic properties of ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ solar cells - aspects of heterojunction formation*. Thin Solid Films, **387**, 141-146, **2001**.
- [Rau99c] U. Rau und H.W. Schock: *Electronic properties of Cu(In,Ga)Se₂ heterojunction solar cells - recent achievements, current understanding, and future challenges*. Appl. Phys. A, **69** (2), 131-147, **1999**.
- [Rau01a] U. Rau, K. Weinert, Q. Nguyen, M. Mamor, G. Hanna, A. Jasenek und H.W. Schock: *Device Analysis of Cu(In,Ga)Se₂ Heterojunction Solar Cells - Some Open Questions*. Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, California, USA, **2001**.
- [Rhoderick93] E.H. Rhoderick, W.R. Frensley und M.P. Shaw: *Properties of junctions and barriers*. In Handbook on Semiconductors: *Device physics*. T. S. Moss, North-Holland, Amsterdam, **4**, 4-97, **1993**.
- [Rhoderick88] E.H. Rhoderick und R.H. Williams: *Metal-Semiconductor Contacts*. Clarendon Press, Oxford, Second Edition, **1988**.
- [Ribben66b] A.R. Ribben und D.L. Feucht: *Electrical transport in nGe-pGaAs heterojunctions*. Int. J. Electronics, **20**, 583-599, **1966**.
- [Ribben66a] A.R. Ribben und D.L. Feucht: *n-Ge-pGaAs heterojunctions*. Solid State Electronics, **9**, 1055-1065, **1966**.
- [Rockett02] A. Rockett, D. Liao, J.T. heath, J.D. Cohen, Y.M. Strzhemechny, L.J. Brillson, K. Ramanathan und W.N. Shafarman: *Near-Surface Defect Distribution in Cu(In,Ga)Se₂*. Thin Solid Films, (wird veröffentlicht), **2002**.
- [Ruckh96] M. Ruckh, D. Harriskos, U. Rühle und H.W. Schock: *Application of ZnO in Cu(In,Ga)Se₂ solar cells*. Proc. 25th IEEE PVSC, Washington DC, USA, **1996**.
- [Ruckh94] M. Ruckh, D. Schmid und H.W. Schock: *Photoemission studies of the ZnO/CdS interface*. J. Appl. Phys., **76** (10), 5945-5948, **1994**.
- [Sadewasser02b] S. Sadewasser und T. Glatzel: *KPFM-Messungen an Cu(In,Ga)S₂-Zellen*. private Mitteilung, **2002**.
- [Sadewasser02a] S. Sadewasser, T. Glatzel, S. Schuler, S. Nishiwaki, R. Kaigawa und M.C. Lux-Steiner: *Kelvin Probe Force Microscopy for the Nano Scale Characterization of Chalcopyrite Solar Cell Materials and Devices*. Thin Solid Films, (wird veröffentlicht), **2002**.
- [Sah61] C.-T. Sah: *Electronic processes and excess currents in gold-doped narrow silicon junctions*. Phys. Rev., **123** (5), 1594-1612, **1961**.
- [Sah57] C.-T. Sah, R.N. Noyce und W. Shockley: *Carrier generation and recombination in p-n junctions and pn-junction characteristics*. Proceedings of the IRE, **45**, 1228-1243, **1957**.

- [Sah58] C.-T. Sah und W. Shockley: *Electron-Hole Recombination Statistics in Semiconductors through Flaws with Many Charge Conditions*. Phys. Rev., **109** (4), 1103, **1958**.
- [Scheer93] R. Scheer: *Korrelation von Struktur und elektronischen Eigenschaften mehrphasiger Cu-In-S Schichten für die Photovoltaik*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Technische Universität Berlin, Berlin, **1993**.
- [Scheer97] R. Scheer: *Surface and interface properties of Cu-chalcopyrite semiconductors and devices*. Trends Vac. Sci. Technol., **2**, 77-112, **1997**.
- [Scheer96] R. Scheer, M. Alt, I. Luck, R. Schiek und H.-J. Lewerenz: *Electrical properties of coevaporated CuInS₂ films by in-situ conductivity measurements*. Proc. Mater. Res. Soc., **426**, 309-314, **1996**.
- [Scheer01] R. Scheer, I. Luck, M. Kanis, M. Matsui, T. Watanabe und T. Yamamoto: *Incorporation of the doping elements Sn, N, and P in CuInS₂ thin films prepared by co-evaporation*. Thin Solid Films, **392**, 1-10, **2001**.
- [Schenk95] A. Schenk und U. Krummbein: *Coupled defect-level recombination: Theory and application to anomalous diode characteristics*. J. Appl. Phys., **78** (5), 3185, **1995**.
- [Schmid93] D. Schmid, M. Ruckh, F. Grunewald und H.W. Schock: *Chalcopyrite/defect chalcopyrite heterojunctions on the basis of CuInSe₂*. J. Appl. Phys., **73** (6), 2902-2909, **1993**.
- [Schmitsdorf95] R.F. Schmitsdorf, T.U. Kampen und W. Mönch: *Correlation between barrier height and interface structure of Ag/Si(111) Schottky diodes*. Surf. Sci., **324**, 249-256, **1995**.
- [Schmitsdorf97] R.F. Schmitsdorf, T.U. Kampen und W. Mönch: *Explanation of the linear correlation between barrier heights and ideality factors of real metal-semiconductor contacts by laterally nonuniform Schottky barriers*. J. Vac. Sci. Technol. B, **15** (4), 1221, **1997**.
- [Schmitt00] M. Schmitt, U. Rau und J. Parisi: *Charge carrier transport via defect states in Cu(In,Ga)Se₂ thin-films and Cu(In,Ga)Se₂/CdS/ZnO heterojunctions*. Phys. Rev. B, **61** (23), 16052, **2000**.
- [Schock00] H.W. Schock, U. Rau, T. Dullweber, G. Hanna, M. Balboul, T. Margorian-Friedlmeier, A. Jasenek, I. Kötschau, H. Kerber und H. Wiesner: *High efficiency, high voltage solar cells by band gap and defect engineering in Cu(In,Ga)(S,Se)₂ chalcopyrite semiconductors*. Proc. 16th EC PVSEC, Glasgow, Scotland, **2000**.
- [Schuler02] S. Schuler, S. Nishiwaki, J. Beckmann, N. Rega, S. Brehme, S. Siebentritt und M.C. Lux-Steiner: *Charge Carrier Transport in Polycrystalline CuGaSe₂ Films*. Proc. 29th IEEE PVSC, New Orleans, Louisiana, USA, **2002**.
- [Seto75] J.Y.W. Seto: *The electrical properties of polycrystalline silicon films*. J. Appl. Phys., **46** (12), 5247, **1975**.
- [Sharma74] B.L. Sharma und R.K. Purohit: *Semiconductor Heterojunctions*. Pergamon Press, Oxford, **1974**.

- [Shay72] J.L. Shay, B. Tell, H.M. Kasper und L.M. Shiavone: *p-d Hybridization of valence bands of I-III-VI₂ compounds*. Phys. Rev. B, **3** (12), 5003, **1972**.
- [Shay75] J.L. Shay, S. Wagner und H.M. Kasper: *Efficient CuInSe₂/CdS solar cells*. Appl. Phys. Lett., **27** (2), 89, **1975**.
- [Shockley49] W. Shockley: *The theory of p-n-junctions in semiconductors and p-n junction transistors*. Bell System Technical Journal, **28**, 435-489, **1949**.
- [Shockley52] W. Shockley und W.T. Read jr.: *Statistics of the recombination of holes and electrons*. Phys. Rev., **87**, 835-842, **1952**.
- [Siemer00] K. Siemer: *Schichtwachstum und elektronische Defekteigenschaften von CuInS₂-Absorberschichten aus dem sequentiellen Prozeß*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **2000**.
- [Siemer01] K. Siemer, J. Klaer, I. Luck, J. Bruns, R. Klenk und D. Bräunig: *Efficient CuInS₂ solar cells from a rapid thermal process (RTP)*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **67**, 159 - 166, **2001**.
- [Sommerhalter99a] C. Sommerhalter: *Kelvinsondenkraftmikroskopie im Ultrahochvakuum zur Charakterisierung von Halbleiter-Heterodioden auf der Basis von Chalkopyriten*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **1999**.
- [Sommerhalter99b] C. Sommerhalter, T.W. Matthes, T. Glatzel, A. Jäger-Waldau und M.C. Lux-Steiner: *High-sensitivity quantitative Kelvin probe microscopy by noncontact ultrahigh vacuum atomic force microscopy*. Appl. Phys. Lett., **75** (2), 286-288, **1999**.
- [Stratton62] R. Stratton: *Theory of Field Emission from Semiconductors*. Phys. Rev., **125** (1), 67, **1962**.
- [Studenikin98] S.A. Studenikin, N. Golego und M. Cocivera: *Optical and electrical properties of undoped ZnO films grown by spray pyrolysis of zinc nitrate solution*. J. Appl. Phys., **83** (4), 2104-2111, **1998**.
- [Topic97] M. Topic, F. Smole und J. Furlan: *Examination of blocking current-voltage behaviour through defect chalcopyrite layer in ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂/Mo solar cell*. Sol. Ener. Mater. Sol. Cells, **49**, 311-317, **1997**.
- [Villars95] P. Villars, A. Price und H. Okamoto: *Handbook of ternary alloy phase diagrams. 7*. The materials information society, **1995**.
- [Vögt92] M. Vögt: *Herstellung und Charakterisierung von Heterosolarzellen auf der Basis von WSe₂-Einkristallen*. Doktorarbeit, Universität Konstanz, Konstanz, **1992**.
- [Walter94a] T. Walter: *Herstellung und optoelektronische Charakterisierung polykristalliner I-III-VI₂-Verbindungshalbleiter und darauf basierender Heteroübergänge für Dünnschichtsolarzellen*. Doktorarbeit, Fakultät für Elektrotechnik, Universität Stuttgart, Stuttgart, **1994**.
- [Walter96a] T. Walter, R. Herberholz, C. Müller und H.W. Schock: *Defect Distribution and Metastability in Chalcopyrite Semiconductors*. Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, California, USA, **1996**.

- [Walter96b] T. Walter, R. Herberholz und H.W. Schock: *Distribution of defects in polycrystalline chalcopyrite thin films*. Solid State Phenomena, **51-52**, 309-316, **1996**.
- [Walter94b] T. Walter, R. Menner, C. Köble und H.W. Schock: *Characterization and junction performance of highly efficient ZnO/CdS/CuInS₂ thin film solar cells*. Proc. 12th EC PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, **1994**.
- [Watanabe99] T. Watanabe und M. Matsui: *Improved Efficiency of CuInS₂-Based Solar Cells without Potassium Cyanide Process*. Jpn. J. Appl. Phys. 2, **38** (12A), L1379, **1999**.
- [Weis02] T. Weis, R. Lipperheide, U. Wille und S. Brehme: *Barrier-controlled carrier transport in microcrystalline semiconducting materials: Description within a unified model*. J. Appl. Phys., **92** (3), 1411, **2002**.
- [Werner01] A. Werner: *Strukturelle und elektronische Charakterisierung silberdotierter photoaktiver CuInS₂-Absorberschichten*. Doktorarbeit, Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Berlin, **2001**.
- [Werner00] A. Werner, I. Luck, J. Bruns, J. Klaer, K. Siemer und D. Bräunig: *Investigation of the influence of silver on the crystal growth of CuInS₂ thin films*. Thin Solid Films, **361-362**, 88-92, **2000**.
- [Werner91a] J.H. Werner und H.H. Guettler: *Barrier inhomogeneities at schottky contacts*. J. Appl. Phys., **69** (3), 1522-1533, **1991**.
- [Werner91b] J.H. Werner und H.H. Guettler: *Transport Properties of Inhomogeneous Schottky Contacts*. Physica Scripta, **T39**, 258-264, **1991**.
- [Würfel95] P. Würfel: *Physik der Solarzellen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, **1995**.
- [Zabierowski00] P. Zabierowski und M. Igalson: *Classification of Metastabilities in the Electrical Characteristics of ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells*. Proc. EMRS 2000, Strasbourg, France, N-VIII-3, **2000**.
- [Zener34] C. Zener: Proc. Roy Soc. London A, **145**, 523, **1934**.
- [Zhang91] S.B. Zhang und J.E. Northrup: *Chemical Potential Dependence of Defect Formation Energies in GaAs: Application to Ga Self-Diffusion*. Phys. Rev. Lett., **67** (17), 2339, **1991**.
- [Zhang98] S.B. Zhang, S. Wei und A. Zunger: *A phenomenological model for systematization and prediction of doping limits in II-VI and I-III-VI₂ compounds*. J. Appl. Phys., **83** (6), 3192, **1998**.

Lebenslauf Joachim Reiß

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 23. März 1972.
Geburtsort: Norden, Ostfriesland.

Schulausbildung

1978-1982 Gorch-Fock-Schule, Schenefeld.
1982-1991 Julius-Leber-Gesamtschule, Hamburg.
1991 Allgemeine Hochschulreife.

Zivildienst

08/91 - 10/92 Betreuung behinderter Kinder im Integrationskindertagesheim im Gemeindezentrum Osdorfer Born.

Universitärer Werdegang

10/92 Aufnahme des Physikstudiums an der Universität Hamburg.
08/94 Vordiplomprüfung Physik, Nebenfach Philosophie.
09/94 - 08/95 Studienaufenthalt an der Universität Uppsala, Schweden, im Rahmen des Erasmus-Austausch-Programms.
02/95 - 07/95 Halbjähriges Forschungsprojekt zur sogenannten "Grätzel-Solar-Zelle" an der Fakultät für physikalische Chemie der Universität Uppsala.
10/95 Fortsetzung des Physikstudiums an der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.
07/97 Diplom-Hauptprüfungen Physik.
02/98 – 02/99 Diplomarbeit am Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme, Freiburg:
„Trocken- und naßchemisch geätzte Oberflächentexturierungen zur Verbesserung der Light-Trapping und Reflexionseigenschaften von multikristallinen Silizium-Solarzellen.“
06/99 Diplom-Nebenfachprüfung: Mathematik.
Seit 09/99 Promotion bei Frau Prof. Lux-Steiner am Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Bereich Solarenergie.

Publikationen

Teile der vorliegenden Arbeit sind bereits veröffentlicht:

Joachim Reiß, Jonas Malmström, Axel Werner, Imke Hengel, Reiner Klenk and Martha Ch. Lux-Steiner: *Current Transport in CuInS₂ Solar Cells Depending on Absorber Preparation*. Vortrag, Materials Research Society Spring Meeting, *San Francisco, USA*, 16 - 20 May 2001, und publiziert in 2001 Materials Research Society Symposium Proceedings, **668**, H9.4.1, **2001**.

Weitere Veröffentlichungen:

T. Moritz, J. Reiß, K. Diesner, D. Su, A. Chemseddine: *Nanostructured Crystalline TiO₂ through Growth Control and Stabilization of Intermediate Structural Building Units*. Journal of Physical Chemistry B, **101**, (41), 8052-8053, **1997**.

R. Lüdemann, S. Schaefer, J. Reiß: *Dry Solar Cell Processing for Low-cost and High-efficiency Concepts*. Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, *Vienna, Austria*, 1499, **1998**.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank an alle ausdrücken, die zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben. Der Dank gilt allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Insbesondere bei:

Frau Prof. M. Ch. Lux-Steiner für die freundliche Aufnahme in ihre Abteilung am HMI, ihren aufopferungsvollen und vielfältigen Einsatz für die Solarenergie, das unter ihrer Verantwortung geschaffene, angenehme Arbeitsumfeld und die intensiven und konstruktiven Diskussionen über die Inhalte und die Struktur dieser Arbeit.

Herrn Prof. J. Luther für seine interessierte Übernahme des Zweitgutachtens und seine spannende und motivierende Vorlesung zur Solarenergie, die mit ein Grund dafür war, dass ich mich nach der Diplomarbeit auch für eine Doktorarbeit auf dem Gebiet der Photovoltaik entschieden habe.

Dr. Reiner Klenk für seine kompetente und freundliche Betreuung, für die vielen Diskussionen mit der Bereitschaft der Sache auf den Grund zu gehen, die gewährte Freiheit und für seine kostbaren Anregungen, die er mit seinem gehaltvollen Erfahrungsschatz auf dem Gebiet der Chalkopyrit-Solarzellen zu geben vermag.

Imke Hengel und Niko Meyer für die Einführung in die Kennlinien-Analyse und den Aufbau des ersten $J(U,T)$ -Messplatzes in unser Abteilung sowie die freundliche und herzliche „Starthilfe“ am HMI.

Carola Kelch, Michael Kirsch, Tim Münchenberg und Jo Klaer und allen anderen an der CuInS₂-Baseline Beteiligten für die Herstellung und Bereitstellung der Solarzellen, die Unterstützung und die Diskussionsbereitschaft.

Wolfgang Eisele und Eveline Rudigier, die sich beide sooo lange durch meine laaaangen Sätze gekämpft und dieser Arbeit an vielen Stellen die Stolpersteine genommen haben.

Sascha Sadewasser und Thilo Glatzel für die wertvollen KPFM-Messungen und die Korrektur und Diskussion der entsprechenden Teile der Arbeit.

Thomas Schörner, Alexander Meeder, Steffen Schuler, Axel Neisser und Christian Kaufmann für das gewissenhafte Korrekturlesen von Teilen der Arbeit.

Axel Neisser und Olga Papathanasiou für die angenehme Zeit im gemeinsamen B-Gebäude-Penthouse mit Mandel-... , die Diskussionsfreude nicht nur über Solarenergie und Axels ansteckende Freude am Laufen.

Axel Werner für die Bereitstellung der Silber-Zauber-Zellen und die Diskussionen darüber – nicht zuletzt beim Joggen durch den Wald.

Dr. Reiner Nürnberg für seine Hilfsbereitschaft, seinen Einsatz und seine Diskussionsfreude bezüglich der Simulations-Ergebnisse mit dem Programm WIAS-TeSCA.

Hans Muffler, Marcus Bär und Heike Steigert für die Präparation, Bereitstellung und Diskussion der ILGAR-Puffer-Zellen.

Dem Ehepaar Kaigawa für ihre Rekordzellen aus der simultanen Verdampfung, welche die Grundlage für viele spannende Ergebnisse dieser Arbeit darstellten.

Jörg Beckmann und Bernd Mertesacker die mir beide auf ihre so unterschiedliche Arten sehr bei der technischen Weiterentwicklung des $J(U,T)$ -Messplatzes geholfen haben.

Annett Hütter für ihre kompetente und herzliche Hilfsbereitschaft.

Meiner Familie für ihre stetige und wertvolle Unterstützung.

Last but not least (auf die Gefahr der Doppelnennungen hin) Wolfgang Eisele, Axel Neisser, Reiner Klenk, Niko Meyer, Jovana Djordjevic, Eveline Rudigier, Steffen Schuler, Alexander Meeder, David Fuertes-Maron, Rocio Bayon, Olga Papathanasiou, Niklas Rega, Hans Muffler, Isabel Gavilanes Perez, Axel Werner und Ulrich Fiedeler für die vielen lustigen und wohligen Momente in und außerhalb des HMI, die die Arbeit am HMI so angenehm machen.