

HL 64 Photovoltaik II

Zeit: Mittwoch 10:45–13:30

Raum: TU P-N202

HL 64.1 Mi 10:45 TU P-N202

Wirkungsgrad von Solarzellen mit Fluoreszenzkollektoren — ●GERDA C. GLÄSER, FLORIAN EINSELE, UWE RAU und JÜRGEN H. WERNER — Institut für Physikalische Elektronik, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart, Germany

Fluoreszenzkollektoren benutzen Farbstoffe zur Konversion von hochenergetischen Photonen der Solarstrahlung in niederenergetische Photonen. Bei der Frequenzkonversion werden die Photonen in der Farbstoffschicht in eine beliebige Richtung emittiert. Das Konversionsvermögen des Kollektors ist abhängig von den Absorptions- und Emissionseigenschaften des Farbstoffes. Die Reflexionseigenschaften und die geometrische Anordnung von Kollektorschicht und Solarzelle bestimmen den Grad der Konzentration des Systems. Die Art des verwendeten Kollektors hängt von der Bandlücke und dem Aufbau der Solarzelle ab. Monte-Carlo-Simulationen des Lichtweges dienen dazu, den Konzentrationsgrad und die Effizienz unterschiedlicher Systemgeometrien zu berechnen. Trotz des Konzentrationseffektes ist der maximale Wirkungsgrad bei rein strahlender Rekombination niedriger als der Shockley-Queisser Wirkungsgrad ohne Konzentration. Unsere Ergebnisse zeigen, dass in realen Fluoreszenzkollektoren ein optimaler Konzentrationsgrad existiert, der zum maximalen Wirkungsgrad führt.

HL 64.2 Mi 11:00 TU P-N202

Laser doped crystalline silicon solar cells — ●A. ESTURO-BRETON, M. AMETOWOBLA, J.R. KÖHLER, and J.H. WERNER — Institut für Physikalische Elektronik, Universität Stuttgart

We report on a laser doping technique that creates pn-junctions for crystalline silicon solar cells. Here, spin on coating of a phosphorous containing liquid serves as a doping precursor on 0.35 Ωcm p-type crystalline silicon wafers. A Nd:YVO₄ pulsed laser scans the sample. Each pulse melts a thin silicon layer and phosphorous atoms diffuse into the molten silicon before the molten layer recrystallizes again. An increase of the laser pulse energy density increases the emitter thickness and reduces the sheet resistance of the emitter and blue response of the cell. PC1D simulations indicate that the decrease of the blue response of the cells with increasing pulse energy density is a result of the increase of the emitter thickness. Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) measurements prove that overlap between the laser pulses reduces the phosphorous concentration at the surface. The result is an increased contact resistivity between metal and semiconductor and, therefore higher series resistance of the solar cells.

HL 64.3 Mi 11:15 TU P-N202

Modellierung der elektrischen und optischen Eigenschaften dünner Siliciumsolarzellen — ●WILLI BRENDLE, CHRISTOPHER BERGE, MARKUS B. SCHUBERT und JÜRGEN H. WERNER — Institut für Physikalische Elektronik, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart, Germany

Oberflächenverluste spielen bei dünnen Solarzellen eine entscheidende Rolle. Zur Analyse und Optimierung der elektronischen Parameter unserer dünnen einkristallinen Siliciumsolarzellen setzen wir das Simulationsprogramm PC1D [1] ein. Die Variation der Leerlaufspannung als Funktion der Zelldicke erlaubt Rückschlüsse auf die Rekombination photogenerierter Ladungsträger an der Bauelementrückseite. Die Modellierung des Lichteinfangs mit SUNRAYS [2] liefert eine Abschätzung des maximal möglichen Wirkungsgrades unserer Solarzellen. Der Vergleich der Modellrechnungen mit experimentellen Ergebnissen gibt Anhaltspunkte zur weiteren Verbesserung unserer Zellen.

[1] P. A. Basore, D. A. Clugston, PC-1D, University of New South Wales, Sydney, Australia (1997).

[2] R. Brendel, *SUNRAYS: A versatile solar cell ray tracing program...*, in *Proc 12th EU Photovoltaic Solar Energy Conf.*, eds. R. Hill, W. Palz, und P. Helm (H. S. Stephens, Bedford, 1994), p. 1339.

HL 64.4 Mi 11:30 TU P-N202

Comparison of dopant sources for laser doped crystalline silicon — ●M. AMETOWOBLA, A. ESTURO-BRETON, J.R. KÖHLER, and J.H. WERNER — Institut für Physikalische Elektronik, Universität Stuttgart

Laser doping of crystalline silicon is a fast and effective method to produce abrupt pn-junctions with one side being highly doped. This approach replaces furnace diffusion for the emitter fabrication of crystalline

silicon solar cells. For this purpose we deposit phosphorous and boron containing liquid doping precursor layers by spin on, spray on, roll on and inkjet processes. Alternatively, we investigate sputtering of boron or phosphorous atoms onto the silicon surface to obtain precursor layers. The deposition method and laser processing parameters affect dopant concentration and homogeneity, as well as junction depth. Junction depth depends mainly on the laser energy density, whereas doping efficiency is mostly influenced by the effective dopant concentration in the precursor layer and its thickness. Consequently, sputtered precursor layers result in the highest dopant concentrations, and require less laser energy than liquid precursor layers.

HL 64.5 Mi 11:45 TU P-N202

Poly-crystalline Si thin-film solar cells on glass: Low-temperature epitaxial thickening of seed layers — ●BJÖRN RAU¹, JULIANE KLEIN¹, JENS SCHNEIDER¹, INA SIEBER¹, STEFAN GALL¹, MICHAEL STÖGER-POLLACH², PETER SCHATTSCHNEIDER², and WALTHER FUHS¹ — ¹Hahn-Meitner-Institut Berlin, Abt. Silizium-Photovoltaik, Kekuléstr. 5, D-12489 Berlin — ²Technische Universität Wien, Institut für Festkörperphysik, Wiedner Hauptstr. 8-10, A-1040 Wien, Austria

The epitaxial thickening of poly-Si seed layers on low-cost substrates like glass is of great interest for the realisation of the photo-active absorber layer of a poly-Si thin-film solar cell. The use of glass substrates limits all process temperatures to temperatures below the softening point of the glass (<650 °C).

Here, we report on the epitaxial growth of Si at temperatures below 600 °C on polycrystalline seed layers using electron-cyclotron resonance chemical vapor deposition (ECRCVD). The seed layers were prepared by aluminum-induced crystallization (AIC) of amorphous Si on glass substrates. The quality of the ECRCVD-grown films depends strongly on the orientation of the seed layer grains; a (100) preferential orientation is favourable for epitaxial thickening.

Structural and electronic properties of the epitaxial layers are discussed in view to their use in solar cell structures. First solar cell test structures were prepared. Open circuit voltages of above 280 mV were achieved.

HL 64.6 Mi 12:00 TU P-N202

Dispersive Optical Structures for Tandemsolarcells — ●A. BIELAWNY¹, P.T. MICLEA¹, S.L. SCHWEIZER¹, R.B. WEHRSPÖHN¹, and S. GLUNZ² — ¹University of Paderborn, Department of Physics, Warburger Str. 100, D-33098 Paderborn — ²Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Department: Solarcells - Materials and Technology, Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg

Photovoltaic tandem solarcells are currently being developed and produced with great efficiencies but at high technological cost. The optical concept of spectrum splitting comes with the advantage of compatibility to all types of cells. Although additional optical efforts are to be made, external photon management can be achieved to fit different pv-cell combinations no matter which bandgaps involved or how the cells connect. We present an experimental set-up to compare spectral beamsplitters and dispersive media and the results obtained from measurements on a GaInP/GaInAs-system matched by means of a dielectric mirror. Initial measurements with bulk colloidal Photonic Crystals as next generation spectral splitting components are presented and possible applications in photovoltaics being discussed.

HL 64.7 Mi 12:15 TU P-N202

Strukturelle, Optische und Elektronische Eigenschaften von reaktiv-gesputterten CuInS_2 Dünnschichten und Solarzellen — ●T. UNOLD, T. ENZENHOFER und K. ELLMER — Hahn-Meitner Institut, Berlin

Wir untersuchen CuInS_2 Dünnschichten die direkt in einem Schritt durch reaktives Sputtern von Cu und In in $\text{H}_2\text{S}/\text{Ar}$ Atmosphäre hergestellt werden. Um den Vergleich mit sonst üblichen sequentiellen und Koverdampfungsprozessen zu ermöglichen wurden auch Solarzellen im HMI Standardprozess hergestellt. REM Messungen zeigen dass mit unserer Methode ein kolumnares Wachstum möglich ist, mit Korndurchmessern im Mikrometerbereich. Raman Messungen zeigen dass für Substrattemperaturen T_s unterhalb 450°C eine Cu–Au Fehlordnung existiert, während diese für $T_s > 450^\circ\text{C}$ nicht nachweisbar ist, selbst bei Indium-arm

gewachsenen Schichten. In der Tat ist es uns gelungen Zellen aus In-arm gewachsenen Absorberschichten mit nahe 6% Wirkungsgrad herzustellen, verglichen mit 8% für unsere besten Cu-reich gewachsenen Schichten. PL Messungen lassen auf eine sehr ähnliche Defektstruktur wie bei sequentiell oder durch Koverdampfung hergestellten Schichten schließen. Dies bedeutet dass der Ionenbeschuss während des Sputterprozesses nicht zu einer stark veränderten Defektstruktur führt.

HL 64.8 Mi 12:30 TU P-N202

ESTIMATION OF INTERFACE DEFECT DISTRIBUTION IN A-SI:H/C-SI HETEROSTRUCTURES — •SAIOA TARDON, GOTTFRIED H. BAUER, and RUDOLF BRUEGGEMANN — Institut fuer Physik, Carl-von-Ossietzky Universitaet Oldenburg, AG GRECO, 26111 Oldenburg

According to Planck's generalized law, photon flux emitted from matter is related to the splitting of the quasi-Fermi levels. We have recorded room temperature photoluminescence yield from p-doped crystalline silicon wafer structures after each step of solar cell processing such as rear contact and hetero-interface preparation and translated into the splitting of quasi-Fermi energies. Numerical simulations of identical structures and measurement conditions have been performed in order to fit the calculated pl-yields to experimental ones. An interfacial defect layer with a Gaussian distribution has been considered at the hetero junction and the energy position of the peak $E_p - E_V$ has been varied from 0.2 to 0.9 eV. The energetic position of interface defects strongly influences band bending, the occupation of dangling bonds, and consequently the splitting of quasi-fermi levels and final maximal open circuit voltage of a-si:H/c-Si heterojunction solar cells.

HL 64.9 Mi 12:45 TU P-N202

Bestimmung der Gitterkonstanten epitaktischer $CuIn_{1-x}Ga_xS_2$ Filme auf Si(111) mittels Synchrotronstrahlung — •JANKO CIESLAK¹, JÜRGEN KRÄUSSLICH², THOMAS HAHN¹, FRANK WUNDERLICH², HEINER METZNER¹, JENS EBERHARDT¹, UDO REISLÖHNER¹, MARIO GOSSLA¹ und WOLFGANG WITTHUHN¹ — ¹Institut für Festkörperphysik, Friedrich Schiller Universität Jena, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena — ²Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich Schiller Universität Jena, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena

Es wurden epitaktische $CuIn_{1-x}Ga_xS_2$ Filme unterschiedlicher Ga-Anteile x mittels Molekularstrahlepitaxie auf Si(111) Substraten abgeschieden. Aufgrund der bzgl. Si kleineren Gitterkonstante a von $CuGaS_2$ und größeren Gitterkonstante von $CuInS_2$ ist eine perfekte Gitteranpassung für das quaternäre System $CuIn_{1-x}Ga_xS_2$ zu erwarten. An der Europäischen Synchrotron Strahlungsquelle in Grenoble konnten die Gitterkonstanten der epitaktischen Filme mittels Röntgenbeugung präzise bestimmt werden. Der Ga-Anteil x, bei denen Gitteranpassung eintritt wurden ermittelt und hat aufgrund des tetragonalen Kristallsystems für die Gitterkonstanten a und c unterschiedliche Werte. Abweichungen der Gitterkonstanten zu Literaturwerten von Einkristallen sowie der Einfluß metastabiler Ordnungstypen werden diskutiert.

HL 64.10 Mi 13:00 TU P-N202

Analysis of the recombination processes at silicon based heterojunctions by surface photovoltage transient technique — •A. LAADES, C. SCHUBERT, R. STANGL, K. v. MAYDELL, K. KLIEFOTH, M. SCHMIDT, and W. FUHS — Hahn-Meitner-Institut Berlin, Silizium-Photovoltaik, Kekuléstr. 5, D-12489 Berlin

We have studied the decay dynamics of photoinduced excess carriers in silicon heterojunctions with different surface passivation procedures by means of time-resolved surface photovoltage technique. In this method excess carriers are generated by a short laser pulse and their annihilation is monitored through the time decay of the light-induced change in surface potential. The characteristic time constants of the different decay modes correlate well with interface parameters such as interface recombination velocity, effective lifetime and trap-emission times. The primary advantage of the present technique compared to the conventional minority carrier investigation methods is the direct probing of the influence of band bending on the interface recombination. Using silicon substrates with different resistivities, we have shown that with decreasing band bending the recombination at the interface prevails over volume recombination. By decreasing the interface state density or increasing band bending, the time constant in the initial part of the transient, where the excess carrier concentration still exceeds the equilibrium concentration, increases considerably. This is explained by a decrease in the surface recombination velocity, leading to a dominance of volume recombination.

In this case, an effective minority carrier lifetime can be extracted from low injection part of the transient.

HL 64.11 Mi 13:15 TU P-N202

Band alignment at the CdS/Cu(In,Ga)S₂ interface in thin film solar cells — •L. WEINHARDT¹, O. FUCHS¹, D. GROSS¹, G. STORCH¹, E. UMBACH¹, N.G. DHERE², A.A. KADAM², S.S. KULKARNI², and C. HESKE³ — ¹Experimentelle Physik II, Universität Würzburg — ²Florida Solar Energy Center, Cocoa, USA — ³Dept. of Chemistry, University of Nevada, Las Vegas, USA

While the Se-based part of the Cu(In,Ga)(S,Se)₂ thin film solar cell family has reached cell efficiencies above 19%, the S-based systems are today still limited to 13%. In principle, cells based on CuInS₂ should be superior to CuInSe₂ cells because of their optimal band gap of 1.4 eV (compared to 1.0 eV for CuInSe₂) and their potentially higher voltage, which reduces the series resistance in a module. However, the open circuit voltage shows a lower increase as would be expected by the larger band gap, the reason for which is speculated to be a non-ideal band alignment at the CdS/CuInS₂-interface. To clarify this issue, we have directly determined the conduction and valence band alignment at the CdS/Cu(In,Ga)S₂ interface by using photoelectron spectroscopy and inverse photoemission. We find an unfavorable conduction band offset of -0.45 (±0.15) eV, which can explain the low open circuit voltage. The results will be discussed in the context of the band alignment at the CdS/CuIn(S,Se)₂ derived in earlier measurements.