

# Anhang A

## Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
$A$	Absorption	
$A$	Richardson-Konstante	$[A * K^{-2} * cm^{-2}]$
$A_i^{Gas}$	Anteil der Gaskomponente i	[%]
$a$	Atomabstand	m
$\alpha$	Absorptionskoeffizient	$[m^{-1}]$
$\alpha_{BV}$	Übergangsfaktor, Durchtrittskoeffizient	
$B$	Magnetfeldstärke	[A/m]
$B_R$	Allgemeine Rekombinationskonstante	$[s^{-1}]$
$B_R^S$	Rekombinationskonstante strahlende Rekombination	$[s^{-1}]$
$B_R^{Auger}$	Auger-Rekombinationskonstante	$[s^{-1}]$
$B_R^{SHR}$	Shockley-Read-Hall-Rekombinationskonstante	$[s^{-1}]$
$C$	Kapazität	$[F/cm^2]$
$C_{spz}$	Spezifische Kapazität	$[\mu F * cm^{-2}]$
$c_{OM, RM}$	Konzentration Oxidations- bzw. Reduktionsmittel	$[mol * l^{-1}]$
$c_{OM, RM}^0$	Ausgangskonzentration des OM bzw. RM	$[mol * l^{-1}]$
$d$	Schichtdicke bzw. Atomebenenabstand	[m]
$\delta_{TRek}$	Einfangsquerschnitt Störstellen	$[cm^2]$
$D_{e,p}$	Diffusionskoeffizient Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^2 * s^{-1}]$
$D_{OM, RM}$	Diffusionskoeffizient OM bzw. RM	$[cm^2 * s^{-1}]$
$D_{Ox, Red}$	Zustandsdichte leerer bzw. besetzter Zustände	$[cm^{-3}]$
$e_0$	Elektrische Elementarladung	$1,6022 * 10^{-19} C$
$[e]_S$	Oberflächen-Elektronenkonzentration	$[cm^{-2}]$
$E$	Energie	[J] [eV]
$E_A$	Aktivierungsenergie	[eV]
$E_{D,A}$	Energie der Donator- bzw. Akzeptorzustände	[eV]
$E_{e,p}$	Mittlere Energie der Elektronen bzw. Defektelektronen	[eV]
$E_G$	Energie der Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband	[eV]
$E_F$	Fermi Energie	[eV]
$E_F^{HL, EL}$	Fermi Energie des Halbleiters bzw. des Elektrolyten	[eV]
$E_{LB, VB}$	Energie Leitungsband- bzw. Valenzbandkante	[eV]
$E_{Trap}$	Energie eines akzeptorartigen Defektzustandes	[eV]
$E_{0F}$	Fermi Grenzenergie	[eV]
$E_{F,n}$	Fermi Energie Elektronen	[eV]
$E_{F,p}$	Fermi Energie Defektelektronen	[eV]
$E_{F,n}^*$	Quasi-Fermi Energie der Elektronen	[eV]
$E_{F,p}^*$	Quasi-Fermi Energie der Defektelektronen	[eV]
$E_{kW}$	Energie des zum Wellenzahlvektors $k_W$ gehörenden Zustandes	[eV]
$E_{vac}$	Potentielle Energie eines Elektrons im Vakuum	0
$E_{Photon}$	Energie der Photonen	[eV]
$E_{NHE}$	Energie der NHE-Elektrode auf d. absoluten Energieskala	[eV]
$E_R^\ominus$	Standardredoxpotential eines Redoxpaares	[V/NHE]
$\overline{E}$	elektrische Feldstärke	[V/m]
$\epsilon_0$	Dielektrizitätskonstante Vakuum	$8,8542 * 10^{-12} A * s * V * m^{-1}$
$\epsilon_{HL}$	spezifische Dielektrizitätskonstante	
$\epsilon_L$	Kristallgitterspannung	
$F$	Faraday-Konstante	$9,648 * 10^4 A * s * mol^{-1}$
$f(E)$	Besetzungswahrscheinlichkeit - Fermi/Dirac Funktion	
$f_{BM}(E)$	Besetzungswahrscheinlichkeit - Boltzmann-Statistik	
$f_{SR}$	Oberflächenrekombinations-Faktor	
$FG$	geometrischer Faktor - Fläche/Länge	[m]
$G(x)$	Allgemeine Generationsrate (Elektronen und Defektelektronen)	$[x] * cm^{-2} * s^{-1}$
$\Delta G^\ominus$	Freie Reaktionsenthalpie	$[J * mol^{-1}]$
$g(E)$	Zustandsdichte/ Energieeigenwertdichte	$[m^{-3}]$
$h$	Plancksches Wirkungsquantum	$6,626 * 10^{-34} J*s$

$\hbar$	Plancksches Wirkungsquantum /2Π	$1,055 * 10^{-34} \text{ J*s}$
$I_\lambda$	Lichtintensität	$[W * cm^{-2}]$
$I_{\lambda,0}$	Ausgangswert Lichtintensität	$[W * cm^{-2}]$
$I_{Feld}$	Feldstrom	[A]
$I_{Diff}$	Diffusionsstrom	[A]
$I_{SR}$	Oberflächenrekombinations-Strom	[A]
$I_{SC}$	Kurzschluss-Strom	[A]
$I_i^{MS}$	Stromsignal der Gaskomponente i im MS-Spektrometer	[A]
$I_{Photo}$	Photostrom	[A]
$i_{+,-}$	Anodischer und kathodischer Stromfluss	[A]
$i_{+,-}^P$	Anodischer und kathodischer Peakstrom	[A]
$i_{LB,VB}$	Gesamtstromfluss über das Leitungs- bzw. Valenzband	[A]
$i_{+}^{LB,VB}$	anodischer Stromfluss über das Leitungs- bzw. Valenzband	[A]
$i_{-}^{LB,VB}$	kathodischer Stromfluss über das Leitungs- bzw. Valenzband	[A]
$i_K$	Kapazitiver Stromfluss	[A]
$i_{RLZ}$	Strom aus der Raumladungszone	[A]
$i_{Diff}$	Diffusionsstrom	[A]
$j_{ap}$	Stromdichte: Arbeitspunkt Solarzelle und Photoelektrode	$[\frac{mA}{cm^2}]$
$j_0$	Austauschstromdichte	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{+,-}^P$	Peakstromdichte (anod. bzw. cathod. Stromfluss )	$[mA * cm^{-2}]$
$j_D$	Durchtritts-Stromdichte	$[mA * cm^{-2}]$
$j_D^{+,-}$	Durchtritts-Stromdichte anod. und kathod. Stromfluss	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{n,R}$	Rekombinationstromdichte Elektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{p,R}$	Rekombinationstromdichte Defektelektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{n,G}$	Generationsstromdichte Elektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{p,G}$	Generationstromdichte Defektelektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{n,p}$	Stromdichte Elektronen bzw. Defektelektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{+,-}$	Anodische und kathodische Stromdichte	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{LB,VB}$	Stromdichte über das Leitungs- bzw. Valenzband	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{RLZ}^{+,-}$	Stromdichte - Raumladungszone Elektronen/Defektelektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{Diff}^{+,-}$	Stromdichte - Diffusionsstrom Elektronen/Defektelektronen	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{LD}$	kinetisch limitierte Stromdichte	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{mp}$	Stromdichte am Maximum Power Point (MPP)	$[mA * cm^{-2}]$
$j_{Photo}$	Photostromdichte	$[A/cm^2]$
$j_{SC}$	Kurzschluss-Stromdichte	$[A/cm^2]$
$k$	Allgemeine Reaktionsgeschwindigkeitskonstante	
$k_{LB,VB}$	Ladungstransfer-Geschw.K. Leitungs- bzw. Valenzband	$[m * s^{-1}]$
$k_{ET}$	Geschw.-Konstante des Elektronentransfers	$[s^{-1}]$
$k_{SR}$	Geschw.-Konstante der Oberflächenrekombination	$[s^{-1}]$
$k_B$	Boltzmann Konstante	$1,38 * 10^{23} \text{ J} * K^{-1}$
$K_A$	Adsorptionskonstante	
$k_W$	Wellenzahlvektor	
$KR_{Hall}$	Korrekturfaktor Hall-Messung	-
$\kappa$	Elektrolyt-Leitfähigkeit	$[\Omega^{-1} * cm^{-1}]$
$L_D$	Debye-Länge	[m]
$L_{e,p}$	Diffusionslänge Elektron bzw. Defektelektron	[m]
$\lambda$	Wellenlänge	[m]
$\lambda_R$	Reorganisationsenergie	[eV]
$m_e$	Masse Elektron	$9,10 * 10^{-31} \text{ kg}$
$m_{e,p}^*$	Effektive Masse Elektron bzw. Defektelektron	[kg]
$[n], [p]$	Konzentration der Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^{-3}]$
$[n_i]$	Eigenleitkonzentration (intrinsischer) Halbleiter	$[cm^{-3}]$
$n_{e,p}$	Ladungsträgerdichte Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^{-3}]$
$n_i$	intrinsische Ladungsträgerdichte	$[cm^{-3}]$
$n_{e,p}$	Ladungsträgerdichte Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^{-3}]$
$n_{0;e,p}$	GG-Ladungsträgerdichte Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^{-3}]$
$n_{e,p}^*$	Ladungsträgerdichte photogenerierter Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^{-3}]$
$n_{Diode}$	Diodenfaktor	
$N_{LB,VB}$	Zustandsdichte Leitungs- bzw. Valenzband	$[cm^{-3}]$
$N_{D,A}$	Zustandsdichte donator- bzw. akzeptorartiger Zustände	$[cm^{-3}]$
$N_D^+$	Zahl der einfach ionisierten, donatorartigen Zustände	$[cm^{-3}]$
$N_A^-$	Zahl der einfach negativ ionisierten akzeptorartigen Zustände	$[cm^{-3}]$
$[N]$	Zahl der Elementarzellen	
$\eta$	Wirkungsgrad, Energiekonversioneffizienz	[%]
$\eta^*$	Überspannung	[V]
$\mu$	Chemisches Potential	[J]
$\mu$	Ladungsträgerbeweglichkeit	$[cm^2 * V^{-1} * s^{-1}]$
$\mu_{EL}$	Elektrochemisches Potential	[J]
$\mu_{eff}$	Effektive Ladungsträgerbeweglichkeit	$[cm^2 * V^{-1} * s^{-1}]$
$\mu_{e,p}$	Beweglichkeit der Elektronen bzw. Defektelektronen	$[cm^2 * V^{-1} * s^{-1}]$
$\mu_{UA}$	Übergangsdipolmoment	
$\mu_{LUV}$	Dipolcharakter der Ladungsverteilung	
$\omega$	Drehgeschwindigkeit	$[U * Min.^{-1}]$

$P$	Porosität	[%]
$P_{out,in}$	Gewonnene bzw. investierte Leistung	$[J * s^{-1}]$
$P_{max}$	Punkt der maximalen Leistung (MPP)	$[J * s^{-1}]$
$p$	Druck	[Pa]
$p_0$	Startdruck	[Pa]
$[p]_S$	Oberflächen-Defektelektronenkonzentration	$[cm^{-2}]$
$pH_{ZPC}$	pH-Wert für den keine Oberflächenladungen vorliegen	
$\Phi_{Ph}$	Photonenfluss	$[Einstein * s^{-1}]$
$q$	Ladung	[C]
$q_i^{MS}$	Korrekturfaktor des Gases i im MS-Spektrometer	
$Q$	Raumladung	[C]
$[Q]$	Anzahl der Raumladungen	[C]
$Q_{Surface}$	Raumladungen an der Oberfläche	$[C * cm^{-2}]$
$R$	Reflektion	[%]
$R$	Ideale Gaskonstante	8,3 J/K*mol
$R_{S,P}$	Serieller bzw. Parallel-Widerstand	$[\Omega]$
$R_{spz}$	Spezifischer Widerstand	$[\Omega * cm]$
$R_{Kontakt}$	Kontakt-Widerstand	$[\Omega]$
$R_{e,p}^{HL}$	Widerstand Elektronen bzw. Defektelektronen im Halbleiter	$[\Omega]$
$R(x)$	Allgemeine Rekombinationsrate	$[s^{-1}]$
$R_{e,p}$	Rekombinationsrate Elektronen bzw. Defektelektronen	$[s^{-1}]$
$R_{e,p}^S$	Rate der strahlenden Rek. von Elektronen bzw. Defektelektronen	$[s^{-1}]$
$R_{e,p}^{Auger}$	Rate der Auger-Rek. von Elektronen und Defektelektronen	$[s^{-1}]$
$R_{e,p}^{SHR}$	Rate der SHR-Rek. von Elektronen und Defektelektronen	$[s^{-1}]$
$R_{e,p}^{ORek}$	Rate der Oberflächen-Rek. von Elektronen und Defektelektronen	$[s^{-1}]$
$R_{Phonon}$	Rate der Elektron-Phonon Streuung	$[s^{-1}]$
$R_{Stoerstelle}$	Rate der Elektron-Stoerstellen Streuung	$[s^{-1}]$
RF	Rauigkeitsfaktor	
$R_{Hall}$	Hall-Konstante	$[cm^3 * A^{-1} * s^{-1}]$
$\rho$	Dichte	$[g * cm^{-3}]$
$S$	Spezifische Oberfläche	$[m^2 * g^{-1}]$
$\sigma$	Leitfähigkeit	$[\Omega^{-1} * cm^{-1}]$
$\sigma_{e,p}$	Leitfähigkeit der Elektronen bzw. Defektelektronen	$[\Omega^{-1} * cm^{-1}]$
$\sigma_{spz}$	spezifische Leitfähigkeit	$[\Omega^{-1} * cm^{-1}]$
$[TRek]$	Konzentration der Störstellen	$cm^{-3}$
$T$	Temperatur	[°C] [K]
$T$	Transmission	[%]
$\tau$	Lebensdauer	[s]
$\Theta$	Beugungswinkel	[°]
$\Theta_B$	Bedeckungsgrad	[%]
$U$	Spannung	[V]
$U_{OC}$	Leerlaufspannung (open circuit voltage)	[V]
$U_{FB}$	Flachbandpotential	[V]
$U_{mp}$	Spannung am Maximum Power Point (MPP)	[V]
$U_{Hall}$	Hall-Spannung	[V]
$U_{SPV}$	Oberflächenphotospannung	[V]
$U_{extern}$	Extern aufgeprägte Spannung	[V]
$U_{RLZ}$	Potentialabfall in der Raumladungszone	[V]
$\nu_{Plasma}$	Plasmafrequenz, Plasmakante	$[s^{-1}]$
$V_{EZ}$	Volumen der Elementarzelle	$[\text{Å}^3]$
$V^{ORek}$	Geschwindigkeit der Oberflächen-Rekombination	$[m * s^{-1}]$
$V_P$	Porenvolumen	$[cm^3]$
$v(E)$	Übergangsfrequenz	$[s^{-1}]$
$\Phi_{M,HL}$	Austrittsarbeit Metall bzw. Halbleiter	[eV]
$\Phi_B$	Höhe der Energiebarriere	[eV]
$\Phi_0$	Photonenfluss, Ausgangswert	[Photonen*s <sup>-1</sup> ; Einstein*s <sup>-1</sup> ]
$\varphi$	Potential	[V]
$\varphi_{Kontakt}$	Kontaktpotential	[V]
$\varphi_{+,-}$	Peak-Potential anodischer und cathodischer Strom	[V]
$\varphi_{1/2}$	Halbstufenpotential	[V]
$W$	Ausdehnung der Raumladungszone (RLZ)	[m]
$W_{Ox,Red}$	Verteilungsfkt. leerer (Ox) + besetzter (Red) Zustände im Elektrolyt	
$\varpi$	Potentialvorschubgeschwindigkeit (PVG)	$[mV * s^{-1}]$
$\xi$	Raumelement	
$\chi$	Elektronenaffinität	[eV]
$\chi_{Me,HL}$	Elektronenaffinität Metall bzw. Halbleiter	[eV]

### Kürzel

### Beschreibung

Abb.:	Abbildung
$A/A^-$	Elektronenakzeptor vor und nach Elektronenaufnahme
ADP, ATP	Adenosin-Diphosphat bzw. Adenosin-Triphosphat
AES	Auger-Elektronen Spektroskopie
AM1.5	Air Mass 1.5, Sonnenspektrum Erdoberfläche, Einfallswinkel 48,19° ( $AM = \frac{1}{\cos\Theta}$ )

at%	Atomprozent
a.u.	Arbitrary units (willkürliche Einheiten)
BCO	Biopyrolyseöl
bcc	body cubic centered - Innenzentrierte kubische Anordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
CV	Cyclovoltammetrie
cps	Counts per second (Signalrate CCD-Kamera)
$D/D^+$	Elektronendonator vor und nach Elektronenabgabe
DCOOD	deuterierte Methansäure
$g_{Cat}$	Pro Gramm Katalysator
EJ	1 Exajoule
EELS	Elektronen-Energie Verlust Spektroskopie
EMS	Elektrochemische Massenspektroskopie
ESR/EPR	Elektronenspin-Resonanzspektroskopie
ERDA	Elastische Rückstreu Analyse mit Schwerionen
EtOH	Ethanol
EQE	Externe Quanteneffizienz
EXAFS	Extended X-Ray Absorption Fine Structure - Analysis
FD	Ferredoxin
FTO	Fluor dotiertes Zinnoxid ( $F:SnO_2$ )
$h^+$	Defektelektron, Elektronenfehlstelle
HER	Wasserstoff-Entwicklungsreaktion
HOMO	Highest occupied molecular orbital
HL	Halbleiter
IEA	Internationale Energiebehörde
IPCE	Umwandlungseffizienz Lichtenergie-Photostrom
ITO	Indium dotiertes Zinnoxid ( $In : SnO_2$ )
i.d.R.	in der Regel
LB	Leitungsband
LEED	Elektronenbeugung bei geringen Energien
LM	Lösungsmittel
LUMO	Lowest unoccupied molecular orbital
max.	maximal
MeOD	deutertes Methanol (MeOH)
Mio.	Millionen
MS	Massenspektrometer, Massenspektroskopie
MTB	Methylbutylether
$NADP^+/H$	De- und protoniertes Nikotinsäureamid-adenin-Dinucleotidphosphat
NHE	Standardwasserstoffelektrode
OEC	Sauerstoff-Bildungskomplex
OER	Sauerstoff-Bildungsreaktion
OM	Oxidationsmittel
PEC	Photoelektrochemische Zelle
pH	pH-Wert
PEV	Primärenergieverbrauch
PVG	Potentialvorschubgeschwindigkeit
PVR	Potentialvorschubrichtung
RDE	Rotierende-Scheiben-Elektrode
REM	Rasterelektronenmikroskop
RHE	Reale Standardwasserstoffelektrode ( $pH = 0$ )
RLZ	Raumladungszone
RM	Reduktionsmittel
RRDE	Rotierende-Ringscheiben-Elektrode
RT	Raumtemperatur, $\approx 25^\circ C$
SPV	Oberflächenphotospannung
SRP	Standard-Redoxpotential
SoSim	Sonnensimulator
TOF	Flugzeit-Messung
Tab.	Tabelle
UPS	Ultraviolett Photoemissions Spektroskopie
US-Bad	Ultraschallbad
US-DOE	Amerikanische Energiebehörde
UV	Ultraviolette Strahlung ( $\lambda:200-400nm$ )
VB	Valenzband
Vol.	Volumen (Vol.% - Volumenprozent)
Vis	Weißlichtstrahlung ( $\lambda:400-800 nm$ )
wt%	Gewichtsprozent
XAS/XES	Röntgen Absorptions/Emissions Spektroskopie
XPS	Röntgenstrahl-Photoemissions Spektroskopie
XRD	Röntgenstrahldiffraktometrie
ZPC	Zero point of charge (Keine freien Ladungen mehr vorhanden)
z.T.	zum Teil

# Anhang B

## Anhang

Probe		d [ $\mu\text{m}$ ]	$j_{photo}$ [ $\frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$ ]	$U_{OC}$ [V/RE]	EQE-A [%]	EQE-B [%]	$j_{photo}$ [ $\frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$ ]	$U_{OC}$ [V/RE]	EQE-A [%]	EQE-B [%]
			1	1	1	1	2	2	2	2
Th44	P25	0,45	0,34	-0,752	0,17	2,44	1,24	-0,799	0,64	8,82
Th26	P25	1,30	0,53	-0,722	0,09	1,30	1,81	-0,795	0,33	4,46
Th27	P25	1,00	0,45	-0,740	0,11	1,44	-	-	-	-
Th28	P25	0,31	0,26	-0,743	0,16	2,28	1,22	-0,792	0,82	11,17
Z22	P25	4,75	0,56	-0,746	0,03	0,42	1,95	-0,785	0,09	1,31
Th48	Anatase	0,40	0,128	-0,747	0,075	1,02	0,315	-0,804	0,185	2,52
Th47	Anatase	0,45	0,108	-0,705	0,056	0,77	0,273	-0,783	0,142	1,93
R02	Anatase	0,35	0,114	-0,768	0,076	1,05	0,303	-0,810	0,20	2,77
Net1	Spray	3,2	0,68	-0,667	0,05	0,68	1,68	-0,721	0,12	1,68
Net5	Spray	5,0	0,81	-0,707	0,04	0,52	-	-	-	-
Net6	Spray	5,1	0,74	-0,686	0,034	0,47	1,73	-0,710	0,08	1,1
Net8	Spray	4,5	0,77	-0,700	0,04	0,54	-	-	-	-
M3	$TiO_2$ -[B]	3,0	0,009	-0,602	0,002	0,011	0,010	-0,630	0,002	0,011
Z8	$TiO_2$ -[B]	2,8	0,008	-0,399	0,002	0,010	0,011	-0,410	0,002	0,014
mTi1	m- $TiO_2$	0,21	0,325	-0,699	0,4	5,2	1,090	-0,755	1,3	17,45
mTi2	$TiO_2$	0,20	0,131	-0,698	0,15	2,1	0,468	-0,735	0,55	7,5
mTi3	m- $TiO_2$	0,22	0,043	-0,681	0,05	0,7	0,058	-0,740	0,05	0,95
mTi4	m- $TiO_2$	0,19	0,186	-0,675	0,20	3,0	0,853	-0,745	1,0	13,65
mTi5	m- $TiO_2$	0,20	0,257	-0,698	0,3	4,1	0,804	-0,765	0,95	12,9
$TiO_2$ -C1 <sub>1</sub>	C - $TiO_2$	0,45	0,027	-0,750	0,014	0,199	0,131	-0,783	0,07	0,93
$TiO_2$ -C1 <sub>2</sub>	C - $TiO_2$	1,2	0,044	-0,783	0,008	0,12	0,185	-0,732	0,03	0,35
$TiO_2$ -C1 <sub>3</sub>	C - $TiO_2$	1,1	0,038	-0,768	0,007	0,11	-	-	-	-
$TiO_2$ -C2 <sub>1</sub>	C - $TiO_2$	0,54	0,043	-0,769	0,026	0,368	0,211	-0,815	0,128	1,78
$TiO_2$ -C2 <sub>2</sub>	C - $TiO_2$	1,50	0,055	-0,732	0,008	0,12	0,234	-0,745	0,036	0,490
$TiO_2$ -C2 <sub>3</sub>	C - $TiO_2$	0,35	0,038	-0,774	0,025	0,340	0,144	-0,805	0,114	1,60
$TiO_2$ -C2 <sub>4</sub>	C - $TiO_2$	0,9	0,047	-0,778	0,012	0,160	0,209	-0,811	0,054	0,74
Th22	Fe - m $TiO_2$ (1)	0,21	0,012	-0,318	0,014	0,2	0,013	-0,240	0,015	0,2
Th21	Sn - m $TiO_2$ (1)	0,18	0,193	-0,669	0,225	3,1	0,842	-0,74	0,99	13,5
Th23	Ru - m $TiO_2$ (1)	0,20	0,056	-0,684	0,065	0,9	0,445	-0,740	0,50	7,15
Th35	V - m $TiO_2$ (1)	0,23	0,010	-0,245	0,011	0,15	0,015	-0,32	0,017	0,25
Th37	V - m $TiO_2$ (10)	0,22	0,006	-0,324	0,007	0,1	0,008	-0,451	0,009	0,15
Th34	Ta - m $TiO_2$ (1)	0,20	0,152	-0,625	0,17	2,45	0,805	-0,70	0,94	12,9
Th38	Ta - m $TiO_2$ (10)	0,19	0,142	-0,475	0,16	2,25	0,730	-0,545	0,85	11,7
Th32	Eu - m $TiO_2$ (1)	0,17	0,101	-0,650	0,12	1,6	0,443	-0,712	0,52	7,1
Th36	Eu - m $TiO_2$ (10)	0,20	0,056	-0,601	0,065	0,9	0,400	-0,665	0,47	6,4
ThW4	m - $WO_3(H_2SO_4)$	0,21	0,018	-0,710	0,011	0,15	0,12	-0,867	0,14	1,9
ThW4	m - $WO_3(HClO_4)$	0,21	0,015	-0,702	0,015	0,15	0,118	-0,883	0,13	1,9
V2	$BiVO_4$	3,5	0,015	-0,410	0,001	0,01	0,012	-0,401	0,0008	0,01
V4	$BiVO_4/TiO_2$ - P25	4,1	0,008	-0,445	0,0005	0,008	0,435	-0,484	0,029	0,39
TR2	$RuO_2 : TiO_2$ (1:3)	1,1	0,059	-0,584	0,013	0,19	-	-	-	-
TR3	$RuO_2 : TiO_2$ (1:6)	1,4	0,117	-0,623	0,027	0,37	-	-	-	-
T-1	Titan/ $TiO_2$ *	3,2	0,078	-0,732	0,05	0,65	0,464	-0,783	0,29	3,90
X33	F: $SnO_2$	0,101	0,0045	+0,003	0,009	0,05	0,004	+0,064	0,008	0,05

Tabelle B.1:  $j_{photo}$ -Photostromdichte (0,5 V/NHE);  $U_{OC}$ -Leerlaufspannung ; RE-Referenzelektrode; d-Schichtdicke; EQE-externe Quanteneffizienz (1  $\mu\text{m}$ , EQE-A  $\lambda$ : 300-1000 nm, EQE-B  $\lambda$ : 300-412 nm); 1-Photooxidation von Wasser; 2-Photooxidation von Methansäure; \*-Optischer Aufbau Membran-Experimente.

Probe	Dotierung [wt%]	indirekter Übergang [eV]	direkter Übergang [eV]	$\alpha@350\text{ nm}$ [cm <sup>-1</sup> ]
TiO <sub>2</sub> -P25	-	3,25	3,36; 3,61	11850
Spray-TiO <sub>2</sub>	-	2,72	3,18	5681
TiO <sub>2</sub> -[B]	-	2,88	3,29	9542
mTi1	-	3,35	3,78	21803
mTi2	-	2,83;3,37	3,73	30460
mTi3	-	3,26;3,47	3,81	15140
TiO <sub>2</sub> -C1	2,98	2,81	3,31	13146
TiO <sub>2</sub> -C2	0,42	3,08	3,41;3,54	11238
Ta-mTiO <sub>2</sub>	1	3,21	3,81	16940
Ta-mTiO <sub>2</sub>	10	3,23	3,81	11210
V-mTiO <sub>2</sub>	1	3,1	3,74	34267
V-mTiO <sub>2</sub>	10	2,87	3,74	51445
Eu-mTiO <sub>2</sub>	1	3,12	3,76	22435
Eu-mTiO <sub>2</sub>	10	3,25	3,77	19332
Ru-mTiO <sub>2</sub>	1	3,12	3,76	20717
Fe-mTiO <sub>2</sub>	1	2,99	3,74	44595

Tabelle B.2: Übersicht der optischen Kenndaten der untersuchten dotierten- und undotierten-Photoelektroden. Zur Berechnung des Absorptionskoeffizienten ( $\alpha@350\text{ nm}$ ) wurde im Vorfeld die Absorption der Probe gegen die Absorption des Substrates korrigiert.

Probe	$U_E$ [V]	O <sub>2</sub> -Fluss [sccm]	Ti [at%]	Nb [at%]	O [at%]	[Nb]/[Ti]	[Nb+Ti]/[O]
2-281106-1	428	3,31	33,7	1,24	64,31	0,036	0,543
3-220906-2	429	3,28	33,25	1,11	63,7	0,033	0,539
3-220906-3	429	3,28	33,40	1,18	63,30	0,035	0,546
1-281106-1	433	3,42	33,20	1,09	64,87	0,033	0,528
2-220906-3	437	3,67	33,15	1,03	65,30	0,031	0,523
1-281106-2 (1h, 450°C)	433	3,42	32,10	1,07	66,16	0,033	0,501
2-281106-2 (1h, 450°C)	428	3,31	33,1	1,0	65,45	0,030	0,521

Tabelle B.3: Ergebnisse der ERDA-Messung zur quantitativen Bestimmung der Filmstöchiometrie in den reaktiv gesputterten Nb<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>O<sub>y</sub>-Schichten (x:0,03; y:1,84-1,96) in Korrelation mit der Entladungsspannung  $U_E$  und dem Sauerstofffluss während des Sputterprozesses.

Probe	Lab-Kennung	$U_E$ [V]	O <sub>2</sub> -Fluss [sccm]	Schichtdicke [nm]
S1	1-170506-1	404	3,15	230
S2	3-220906-2	428	3,28	160
S3	3-180506-2	450	3,39	150
S4	2-310506-2	430	3,24	136
S5	1-290307-1	429	3,28	157
S6	4-290307-1	440	3,40	98
S7	1-290906-1	390/441	3,0/3,40	150
S8	2-281106-3	428	3,31	142
S9	3-290307-1	432	3,29	130
S10	1-281106-3	433	3,32	140
S11	1-201206-3	428	3,28	130
S12	2-281106-4	428	3,31	142
S13	2-300307-1	427	3,22	120
S14	2-170506-1	385	2,70	280
S15	4-150506-3	390	0,31	275
S16	4-150506-4	390	0,31	275
S17	1-170506-2	403	3,15	230
S18	1-170506-3	403	3,15	230
S19	2-220906-3	430	3,30	110
S20	3-220906-1	428	3,28	160
S21	2-281106-2	428	3,31	142
S22	1-280906-1	432	3,31	154
S23	1-280906-2	432	3,31	154
S24	1-281106-4	433	3,32	140
S25	1-220906-2	435	3,34	135
S26	1-220906-3	435	3,34	135
S27	4-230506-1	439	3,34	180
S28	4-230506-2	439	3,34	180
S29	1-310506-2	441	3,34	185
S30	1-310506-1	441	3,34	185
S31	1-180506-2	440	3,37	85
S32	4-310506-2	443	3,35	96
S33	4-280906-2	444	3,40	136
S34	4-280906-3	444	3,40	136
S35	3-180506-1	450	3,39	150
S36	3-180506-2	450	3,39	150
S37	4-180506-2	449	3,38	80

Tabelle B.4: Übersicht der gesputterten Proben S1-S37 bezüglich ihrer Kennung, ihrer Schichtdicke sowie der Entladungsspannung ( $U_E$ ) und des Sauerstoffflusses (O<sub>2</sub>-Fluss) während ihrer Herstellung.

Probe	[101]-Reflex 2 $\theta$ in $^\circ$	FWHM	$d_{\text{Partikel}}$ nm	$\varepsilon_L$	S $\frac{m^2}{g}$	$V_P$ $\frac{cm^3}{g}$	RF
TiO <sub>2</sub> -P25	25,347	0,366	22,3	1,6	81	1,09	64
Hombikat UV-100	25,160	0,892	9,1	3,9	100	-	-
Spray-TiO <sub>2</sub>	25,330	0,219	37,3	0,9	54	0,98	44
m-TiO <sub>2</sub>	25,254	0,572	14,2	2,5	220	1,40	151
TiO <sub>2</sub> -[B]	24,920 ([110])	0,621	14,1	2,7	10	0,051	8
TiO <sub>2</sub> -C1	25,339	1,026	7,9	4,4	417,3	0,491	558
TiO <sub>2</sub> -C2	25,335	0,994	8,1	4,3	275	0,731	280

Tabelle B.5: Aus XRD- und BET-Messungen abgeleitete Daten und Informationen. FWHM-Peakhalbwertsbreite (Lorentz-Fit),  $d_{\text{Partikel}}$ -Kristallitgröße,  $\varepsilon_L$ -Gitterspannung, S-BET-Oberfläche,  $V_P$ -Total Porenvolumen, RF-Rauhigkeitsfaktor.

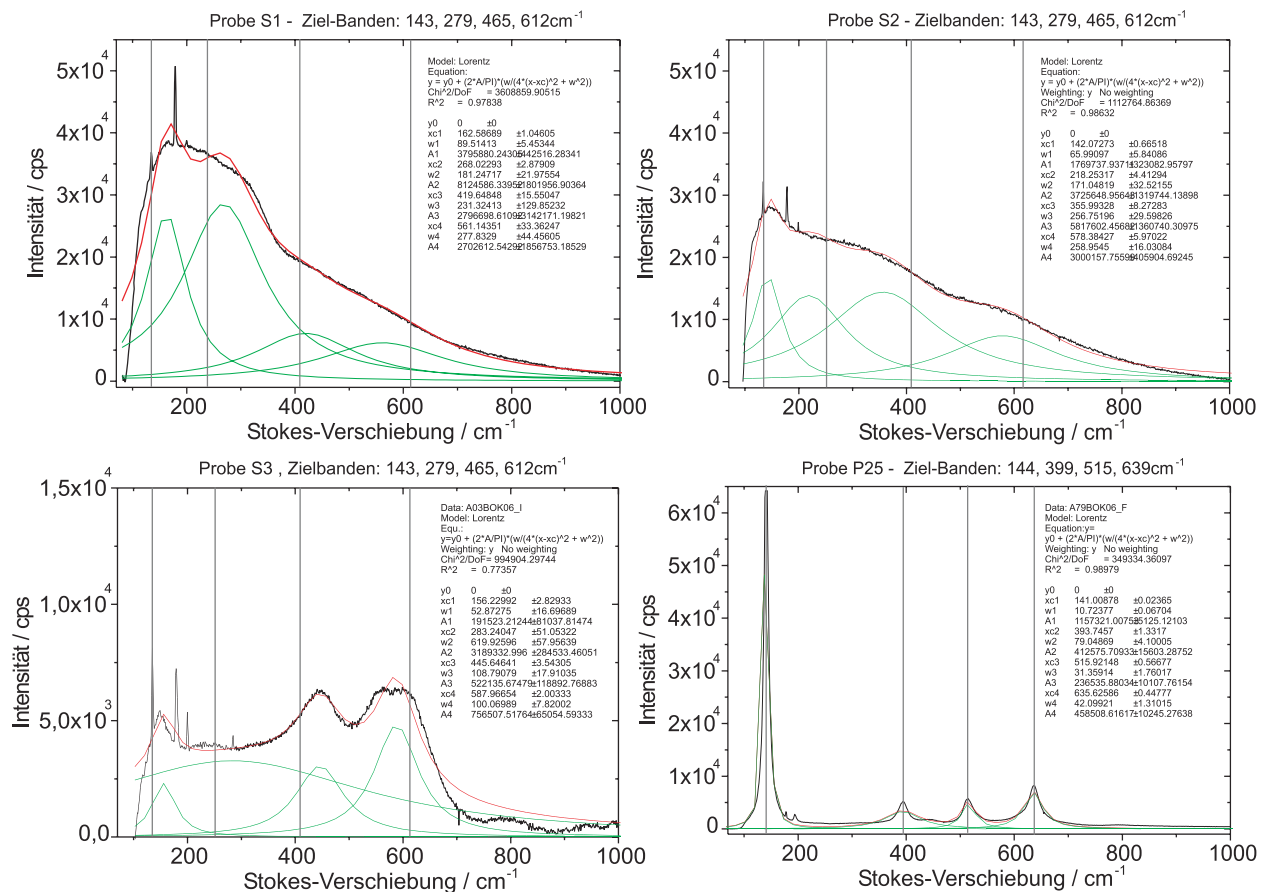


Abbildung B.1: Entfaltete Raman-Spektren der Proben: S1 - Bronze, S2 - Nb<sub>0,03</sub>Ti<sub>0,97</sub>O<sub>1,84</sub>, S3 - Nb<sub>0,03</sub>Ti<sub>0,97</sub>O<sub>1,91</sub> und P25 - TiO<sub>2</sub>-P25 (Degussa).

# Literaturverzeichnis

- [1] P.W. Atkins, *Physikalische Chemie*, 2.Auflage, VCH-Weinheim, 1996.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Eneuerbare Energie in Zahlen*, 2005; British Petrol *BP-Weltenergiestatistik 2005 + 2006*, British Petrol Distribution Service, Egham, Surrey TW20 8RG, Großbritannien, 2005 + 2006.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, *Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung*, 2006 und 2007.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, *EWI-Prognose: Trends in Energy Markets 2030*, 2005.
- [5] a) Europäische Kommission, *WETO-World energy, technology and climate policy outlook 2030*, Community research, EUR-20366, 2005; b) EU-Direktorat für Energie und Transport *European Energy and Transport*, ISBN:92-79-02652-6, 2006.
- [6] International Energy Agency, *International Energy Outlook 2020*, 2000.
- [7] US Department of Energy, *International Energy Outlook*, 2002 + 2006.
- [8] Deutsche Physikalische Gesellschaft, *Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990-2020*, Studie der DPG, 2005.
- [9] N. Stern, *Economics of Climate change*, Cambridge University press, 2006.
- [10] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) *Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse*, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FNR und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2006.
- [11] Forschungsverbund Solare Energien, *FVS-Themen 2001 + 2004*, Integration Erneuerbarer Energien in Versorgungsstrukturen, Band 2001 und Wasserstoff und Brennstoffzellen - Energieforschung im Verbund, Band 2004.
- [12] Statistisches Bundesamt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Feldfrüchte - Hektarerträge, 2006.
- [13] H. Pütter *Nachrichten der Chemie*, 55, **2007**, Beilage: Potenziale der Chemie für mehr Energieeffizienz, 5.
- [14] Deutscher Wasserstoff Verband (DWV), *Wasserstoff - Der neue Energieträger*, Deutscher Wasserstoff Verband, 2006; J. Garcke, *Integration Erneuerbarer Energien in den Verkehr*, Forschungsverbund Solare Energien (FVS), 2001.
- [15] Y.V. Pleskov *Solar Energy Conversion*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1990.
- [16] J.O.M. Bockris, S.U.M. Khan, *Surface Electrochemistry - A Molecular Level Approach*, Plenum Press N.Y., **1993**.
- [17] H. Schmieder, E. Henrich, E. Dinjus, *Wasserstoffgewinnung durch Wasserspaltung mit Biomasse und Kohle*, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6556, 2000.
- [18] J. Nitsch *Potenziale der Wasserstoffwirtschaft*, Wissensch. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), 2003; HyWeb:Wissen *Erzeugung von Wasserstoff*, L-B Systemtechnik GmbH, <http://www.hyweb.de>, 2002/2006.
- [19] G.A. Olah, A. Coeppert, G.K.S. Prakash, *Beyond Oil and Gas - The Methanol Economy*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- [20] D.R. Lide, *CRC-Handbook of Chemistry and Physics*, 84,th Ed. 2003-2004; F.W. Küster, A. Thiel, *Rechentafeln für die Chemische Analytik*, deGryter-Verlag, Berlin, 1993.
- [21] R. Chahine, T.K. Bose *Int. J. Hydrogen Energy*, 19, **1994**, 161; P. Chen, X.Wu, J.Lin, K.L. Tan *Science*, 285, **1999**, 91].



- [22] I. Uehara, T.Sakai, H.Ishikawa *J. of Alloys and Compounds*, **1997**, 253 und 635.; G. Sandroock, *Hydrogen Storage in Metal Hydrides and Carbons*, IEA H<sub>2</sub> Task 17.
- [23] E. Gülzow, *HighChem-Aktuelles aus der Elektrochemie zum Thema Energie*, Gesellschaft dt. Chemiker, 2007.
- [24] C.H. Hamann, W. Vielstich, *Elektrochemie*, Wiley-VCH, 3.Auflage, 1998.
- [25] A. Melis, L. Zhang, H. Forestier, M.L. Ghirardi, M. Seibert, *Plant.Physiol.*, **2000**, 127; H. Masukawa *IPS-16, Vortrag W2-O-4H*, IPS-16, Uppsala, 2006.
- [26] A. Kogan, E. Spiegler, M. Wolfshtein *Int. J. of Hydrogen Energy*, 25, **2000**, 739.
- [27] J.O,M Bockris *Int. J. of Hydrogen Energy*, 27, **2000**, 731.
- [28] J.O,M Bockris, J. Bevan, S. Badwall *Acta Electrochemistry*, 25, **1980**, 115.
- [29] S. Licht *J.Phys. Chem. B*, 107, **2003**, 4245.
- [30] R.M. Develin, A.V. Barker, *Photosynthesis*, Kapitel 5, VNR-Verlag, 1971
- [31] C.W. Hoganson, G.T. Babcock *Science*, 277, **1997**, 1953; M.J. Baldwin, V.L. Pecoraro *J.Am.Chem.Soc.* 118, **1996**, 11325.
- [32] J.P. McEvoy, G.W. Brudvig *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 6, **2004**, 4754.
- [33] J. Clausen, W. Junge *Physik Journal*, 5, **2006**, 18.
- [34] J. Messinger *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 6, **2004**, 4764.
- [35] D.E. Nicholson, *Metabolic Pathways in Plants and Animals*, 22nd Edition, Sigma Aldrich.
- [36] J.R. Bolton, *Solar Power and Fuels*, Chapter 2, Academic Press, 1977.
- [37] A. Fujishima, K. Honda *Nature*, 238, **1972**, 37.
- [38] A.J. Nozik *Applied Physics Letters*, 30, **1977**, 567.
- [39] A.J. Nozik, R. Memming *J.Phys.Chem.*, 100, **1996**, 13061.
- [40] R.H. Wilson *CRC Crit. Rev. Mat. Sci.*, 10, **1980**, 1.
- [41] M.A. Fox, M.T. Dulay *Chem.Rev.*, 93, **1993**, 341.
- [42] A. Mills, S. Le Hunte *J.Photochem.,Photobiol.A*, 108, **1997**, 1.
- [43] N. Serpone, E. Pelizzetti, *Photocatalysis-Fundamentals and Applications*, Wiley-Interscience, 1989.
- [44] A.J. Bard *J.Phys.Chem.*, 86, **1982**, 172.
- [45] K. Rajeshwar, N.R. de Tacconi, C.R. Chenthamarakshan *Chem. Mat.*, 13, **2001**, 2765; K. Rajeshwar *J.Appl.Electrochemistry*,15,**1985**,1.
- [46] M.A. Butler, D.S. Ginley *J.Mat.Sci.*, 15, **1980**, 1.
- [47] A.L. Linsebigler, G. Lu, J.T Yates, Jr. *Chem.Rev.*, 95, **1995**, 735.
- [48] A. Fujishima, T.N. Rao, D.A. Tryk *J.Photochem.Photobiology C*, 1, **2000**, 1.
- [49] A. Kudo, H. Kato, I. Tsuji *Chem.Lett.*, 33, **2004**, 1534.
- [50] S. Licht *Electrochem. Comm.*, 4, **2002**,790.
- [51] R. Abe, K. Sayama, H. Arakawa *Chem.Phys.Lett.*, 371, **2003**, 360.
- [52] D. Beydoun, R. Amal, G. Low, S. McEvoy *J.Phys.Chem.B*, 104, **2000**,4387.
- [53] M. Hara, G. Hitoki, T. Takata, J.N. Kondo, H. Kobayashi, K. Domen *Catalysis Today*, 78, **2003**, 555.
- [54] K. Sayama, A. Tanaka, K. Domen, K. Maruya, T. Onishi *J.Phys.Chem.*, 95, **1991**, 1345.
- [55] D.W. Hwang, J.S. Lee, W. Li, S.H. Oh *J.Phys.Chem.B*, 107, **2003**, 4963.
- [56] Z. Zou, J. Ye, H. Arakawa *Chem.Mater.*, 13, **2001**, 1765.
- [57] H. Kato, A. Kudo *J.Phys.Chem.B*, 106, **2002**, 5029.
- [58] G. Campet, J. Verniolle, J.P. Doumerc, J. Claverie *Mat.Res.Bull.*, 15, **1980**, 1135.

- [59] K. Wilke, H.D. Breuer, *12.Int.Konferenz Photochemical Conversion and Energystorage*, 1998, Berlin, 333.
- [60] S.I. Shah, C.P. Huang, J.G. Chen, D. Doren, M. Barteau, *Conference - NSF Nanoscale Science and Engineering*, 16.12.2003.
- [61] M. Mrowetz, W. Balcerski, A.J. Colussi, M.R. Hoffmann *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 17269.
- [62] H. Irie, Y. Watanabe, K. Hashimoto *J.Phys.Chem.B*, 107, **2003**, 5483.
- [63] R. Nakamura, T. Tanaka, Y. Nakato *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 10617.
- [64] R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, y. Taga *Science*, 293, **2001**, 269.
- [65] S. Sakthivel, H. Kisch *ChemPhysChem*, 4, **2003**, 487.
- [66] U. Koslowski, K. Ellmer, P. Bogdanoff, T. Dittrich, T. Guminskaya, H. Tributsch *J.Vac.Sci.Technol.*, 26, **2006**, 2199.
- [67] S. Sakthivel, H. Kisch *Angew.Chem.*, 115, **2003**, 5057.
- [68] S.U.M. Khan, M. Al-Shahry, W.B. Ingler *Science*, 297, **2002**, 2243.
- [69] E.L.D. Hebenstreit, W. Hebenstreit, U. Diebold *Surf.Sci.*, 470, **2001**, 347; D. Gonbeau, C. Guimon, G.P. Guillouzo, A. Levasseur, G. Meunier, R. Dormoy *Surf.Sci.*, 254, **1991**, 81.
- [70] T. Umebayashi, T. Yamaki, H. Itoh, K. Asai *Appl.Phys.Lett.*, 81, **2002**, 454; T. Umebayashi, T. Yamaki, S. Yamamoto, A. Miyashita, S. Tanaka, T. Sumita, K. Asai *J.Appl.Phys.*, 93, **2003**, 5156.
- [71] Y. Choi, S. Yamamoto, H. Itoh *NIM B*, 206, **2003**, 241.
- [72] T. Tachikawa, S. Tojo, K. Kaway, M. Endo, M. Fujitsuka, T. Ohno, K. Nishijima, Z. Miyamoto, T. Majima *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 19299.
- [73] S. Ogura, M. Kohno, K. Sato, Y. Inoue *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 1, **1999**, 179; S. Ogura, M. Kohno, K. Sato, Y. Inoue *J.Mater.Chem.*, 8, **1994**, 2335.
- [74] Y. Inoue, M. Kohno, T. Kaneko, S. Ogura, K. Sato *J.Chem.Soc.Farraday*, 94, **1998**, 89.
- [75] H. Kato, K. Asakura, A. Kudo *J.Am.Chem.Soc.*, 125, **2003**, 3082; H. Kato, H. Kobayashi, A. Kudo *J.Phys.Chem.B*, 106, **2002**, 12441.
- [76] Z. Zou, H. Arakawa *J.Photochem.Photobiol.*, 158, **2003**, 145.
- [77] J. Yoshimura, Y. Ebina, J. Kondo, K. Domen, A. Tanaka *J.Phys.Chem.*, 97, **1993**, 1970.
- [78] Y. Ebina, N. Sakai, T. Sasaki *J.Phys.Chem.B*, 109, **2005**, 17212.
- [79] J. Yin, Z. Zou, J. Ye *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 12790.
- [80] H.G. Kim, D.W. Hwang, J.S. Lee *J.Am.Chem.Soc.*, 126, **2004**, 8912.
- [81] J. Tang, Z. Zou, J. Ye *J.Phys.Chem.B*, 107, **2003**, 14265.
- [82] J. Sato, H. Kobajashi, N. Saito, H. Nishiyama, Y. Inoue *J.Photochem.Photobiology A: Chemistry*, 158, **2003**, 139 und 148, **2002**, 85; J. Sato, H. Kobayashi, K. Ikarashi, N. Saito, H. Nishiyama, Y. Inoue *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 4369.
- [83] I. Tsuji, H. Kato, H. Kobayashi, A. Kudo *J.Am.Chem.Soc.*, 126, **2004**, 13406.
- [84] F.A. Cotton, G. Wilkinson, *Advanced Inorganic Chemistry*, J.Wiley-Verlag, 4.Ed., 1980.
- [85] A. Kudo, K. Omori, H. Kato *J.Am.Chem.Soc.*, 121, **1999**, 11459.
- [86] B. Smarsly, D. Grosso, T. Brezesinski, N. Pinna, C. Boissiere, M. Antonietti, C. Sanchez *Chem.Mat.*, 16, **2004**, 2948; T. Brezesinski; A. Fischer; K.-I. Iimura; C. Sanchez; D. Grosso; M. Antonietti; B. Smarsly *Adv.Funct.Mat.*, 16, **2006**, 1433.
- [87] E.L. Crepaldi, G. Soler-Illia, D. Grosso, F. Cagnol, F. Ribot, C. Sanchez *J.Am.Chem.Soc.*, 125, **2003**, 9770; S.H. Yun, K. Miyazawa, H.S. Zhou, I. Honma, M. Kuwabara *Adv.Mater.*, 13, **2001**, 1377; Y.K. Hwang, K.C. Lee, Y.U. Kwon *Chem.Commun.*, **2001**, 1738.
- [88] K.L. Frindell, J. Tang, J.H. Harreld, G.D. Stucky *Chem.Mater.*, 16, **2004**, 3524; J.C. Yu, X. Wang, X. Fu *Chem.Mater.*, 16, **2004**, 1523; Q.B. Meng, C.H. Fu, Y. Einaga, Z.Z. Gu, A. Fujishima, O. Sato *Chem.Mater.*, 14, **2002**, 83.

- [89] B. Neumann, P. Bogdanoff, S. Sakthivel, H. Kisch, H. Tributsch *J.Phys.Chem.B.*, 109, **2005**, 16579.
- [90] G.R. Torres, T. Lindgren, J. Lu, C.G. Granqvist, S.E. Lindquist *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 5995.
- [91] S.U.M Khan, J. Akikusa *J.Phys.Chem B*, 103 , **1999**, 7184.
- [92] S.J. Sartoretti, M. Ulmann, B.D. Alexander, J. Augustynski, A. Weidenkaff *Chem.Phys.Lett.*, 376, **2003**, 194.
- [93] A. Duret, M. Grätzel *J.Phys.Chem.B*, 109, **2005**, 17184.
- [94] C. Santato, M. Ulmann, J. Augustynski *J.Phys.Chem B*, 105, **2001**, 936.
- [95] C. Santato, M. Odziemkowski, M. Ulmann, J. Augustynski *J.Am.Chem.Soc.*, 123, **2001**, 10639.
- [96] R. Solarska, C. Santato, C.J.Sartoretti, M. Ullmann, J. Augustynski *J.Appl.Electrochem.*, 35, **2005**, 715.
- [97] S. Licht, S. Ghosh, S. Fiechter, H. Tributsch *Solar Energy u. Solar Cells*, 70, **2002**, 471.
- [98] M.S. Wrighton, A.B. Ellis, P.T. Wolczanski, D.L. Morse, H.B. Abrahamson, D.S. Ginley *J.Am.Chem.Soc.*, 98, **1976**, 2774 u. 44.
- [99] C.A.N. Fernando, T.M.W.J. Bandara, S.K. Wethasingha *Solar Energy Mat.& Solar Cells*, 70, **2001**, 121.
- [100] G. Lodi, E. Sivieri, A. De Battisti, S. Trasatti *J. Appl. Electrochemistry*, 8, **1978**, 135; S. Trasatti *Int.J.Hydrogen Energy*, 20, **1995**, 835.
- [101] J.M. Hu, J.Q. Zhang, C. Nan Cao *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 29, **2004**, 791.
- [102] R. Memming, *Semiconductor Electrochemistry*, Wiley-VCH Verlag, 2001.
- [103] K. Sayama, K. Mukasa, R. Abe, Y. Abe, H. Arakawa *J.Photochemistry u. Photobiology A, Chemistry* , 148, **2002**, 71.
- [104] R.C. Kainthla, B. Zelenay, J.O.M. Bockris *J. Electrochem. Soc.*, 134, **1987**, 841.
- [105] S. Licht, B. Wang, S. Mukerji, T. Soga, M. Umeno, H. Tributsch *J.Phys.Chem. B*, 104, **2000**, 8920.
- [106] X. Gao, S. Kocha, A.J.Frank, J.A. Turner *Int.J.Hydrogen Energy*, 24, **1999**, 319.
- [107] N.A. Kelly, T.L. Gibson *Int.J.Hydrogen Energy*, 31, **2006**, 1658.
- [108] R.E. Rocheleau, E.L. Miller, A. Misra *Solar Energy*, 12, **1998**, 10.
- [109] N.G. Dhere, A.H. Jahagirdar *Thin Solid Films*, 480/481, **2005**, 462; N.G. Dhere *Sol.Energy.Mat.u.Sol.Cells*, 91, **2007**, 1488.
- [110] M. Grätzel *Chemistry Letters*, 34, **2005**, 8.
- [111] A. Metz, *Tagung: Solarenergieforschung in Niedersachsen*, 10.09.1998, ISFH-Hameln.
- [112] E.L. Miller, R.E. Rocheleau, X.M. Deng *Int.J.Hydrogen Energy*, 28, **2003**, 615.
- [113] A. Goetzberger, J. Luther, G. Willeke *Sol.Energy Mat.&Solar Cells*, 74, **2002**, 1.
- [114] M.A. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igari, W. Warta *Prog.Photovolt:Res.Appl.*, 11, **2003**, 39.
- [115] S. Licht *J.Phys.Chem.B*, 105, **2001**, 6281.
- [116] H. Hänsel, W. Neumann, *Physik*, Band 1-4, Spektrum-Verlag **1996**.
- [117] C. Kittel, *Einführung in die Festkörperphysik*, R.Oldenburger-Verlag, 2.Auflage, 1969.
- [118] E. Justi, *Leitfähigkeit und Leitungsmechanismus fester Stoffe*, Vandenhoeck u. Ruprecht Verlag, 1948.
- [119] P. Würfel, *Physik der Solarzellen*, 2.Auflage, Spektrum-Verlag, **2000**.
- [120] W. Shockley, W.T. Read *Phys. Rev.*, 87, **1952**, 835.
- [121] M. Bär, *Neue Cd-freie Fensterstruktur für Chalkopyrit Dünnschichtsolarzellen*, Dissertation, Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, TU-Berlin, 2003.

- [122] D. Fuertes Marron, *Structural and electronic characterisation of thin-film solar cells based on CVD-grown CuGaSe<sub>2</sub>*, Dissertation, Fachbereich Physik, FU-Berlin, **2003**.
- [123] C.A. Kaufmann, *Chemical Bath Deposition of Thin Semiconductor Films for Use as Buffer Layers in CuInS<sub>2</sub> Thin Film Solar Cells*, Dissertation, Department of Engineering Science, University of Oxford, **2002**.
- [124] H. Stroppe, *Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften*, 11.Aufl. Fachbuchverlag Leipzig, 1999.
- [125] J.Y.W. Seto *J.Appl.Phys.*, 46, **1975**, 5247.
- [126] K. Ellmer, R. Mientus *Thin Solid Films*, **2007**, doi:10.1016/j.tsf.2007.05.084.
- [127] J. Werner *Solid State Phenomenon*, 37, **1994**, 213.
- [128] J. Moser, S. Punichihewa, P.P. Infelta, M. Grätzel *Langmuir*, 7, **1991**, 3012; P. Persson, R. Bergström, S. Lunell *J.Phys.Chem.B*, 104, **2000**, 10348.
- [129] R. Klenk *Thin Solid Films*, 387, **2001**, 135.
- [130] H. Gerischer *Zeitschrift für Physik.Chemie*, 26, **1960**, 223+325 und 27, **1961**, 48.
- [131] R.A. Marcus *J.Chem.Phys.*, 24, **1956**, 966; R.A. Marcus *Ann.Rev.Phys.Chem.*, 15, **1964**,155.
- [132] S. Hauptmann, J. Graefe, H. Remane, *Lehrbuch der Organischen Chemie*, VEB-Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig, 1975; K.H. Näser *Physikalische Chemie*, VEB-Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
- [133] F.A. Carey, R.J. Sundberg, *Organische Chemie - Ein weiterführendes Lehrbuch*, VCH-Weinheim, 1995.
- [134] G.L. Elizarova *Catalysis Today*, 58, **2000**, 71.
- [135] W.W. Gärtner *Phys.Rev.*, 116, **1959**, 84.
- [136] M.A. Butler *J.Appl.Phys.*, 48, **1977**, 1914.
- [137] R.H. Wilson *J.Appl.Phys.*, 48,**1977**, 4292.
- [138] D.W. Bahnemann, M. Hilgendorff, R. Memming *J.Phys.Chem.B*, 101, **1997**, 4265; J. Thomchick, A.M. Buoncristiani *J. Appl. Phys.*, 51, **1980**, 6265.
- [139] G. Schlichthörl, H. Tributsch *Electrochimica Acta*, 37, **1992**, 919; R.E. White, J.O'M Bockris, B.E. Conway, *Modern Aspects of Electrochemistry No.33* H. Tributsch, S.:433 ff., Kluwer Academics, 1999.
- [140] R. Sanlines, H. Tang, H. Berger, F. Gozzo, G. Margaritondo, F. Levy *J.Appl.Phys.*, 75, **1994**, 2945.
- [141] A.J. Frank, N. Kopidakis, J. van de Lagemaat *Coordination Chem. Rev.*, 248, **2004**, 1165.
- [142] H.Tang, *J. Appl. Phys.*, 75, **1994**, 2042.
- [143] U. Diebold *Surface Science Reports*, 48, **2003**, 53.
- [144] S. Södergren, A. Hagfeldt, J. Olsson, S.E. Lindquist *J.Phys.Chem.*, 98, **1994**, 5552.
- [145] J.F. Banfield, D.R. Veblen, D.J. Smith *Am. Mineral.*, 76, **1991**, 343.
- [146] R. Marchand, L. Brohan, M. Tournoux *Mat.Res.Bull.*, 15, **1980**, 1129; G. Betz, H. Tributsch, R. Marchand
- [147] M. Zweynert, H. Döring, J. Garche, K. Enghard, K. Wiesner *Chemie Ingenieur Technik*, 7, , **1998**, 827.
- [148] JCPDS-ICDD Datenbank, 1994 (*TiO<sub>2</sub>*: 21-1272; 21-1276, 29-1360).
- [149] S.J. Rigby, A.H.R. Al-Obaidi, S.K. Lee, D. McStay, P.K.J. Robertson *Appl.Surf.Science*, 252, **2006**, 7948; K.R. Zhu, M.S. Zhang, Q. Chen, Z. Yin *Phys.Lett.A*, 340, **2005**, 220.
- [150] I. Oja, A. Mere, M. Krunk, R. Nisumaa, C.H. Solterbeck, M. Es-Souni *Thin Solid Films*, 515, **2006**, 674.
- [151] S. Kelly, F.H. Pollak, M. Tomkiewicz *J.Phys.Chem.B*, 1997, **101**, 2730. *J.Appl.Electrochem.*, 14, **1984**, 315.
- [152] P.W. Murray, F.M. Leibsle, C.A. Muryn, H.J. Fischer, C.F.J. Flipse, G. Thornton *Surf.Sci.*, 321, **1994**, 217.

- [153] L.A. Grunes, R.D. Leapman, C.N. Wilker, R. Hoffman, A.B. Kunz *Phys.Rev.*, 25, **1982**, 7157; R. Brydson, H. Sauer, W. Engel, J.M. Thomas, E. Zeitler, N. Kosugi, H. Kuroda *J.Phys.Cond.Matter*, 1, **1989**, 797.
- [154] H. Raza, C.L. Pang, S.A. Haycock, G. Thornton *Phys.Rev.Lett.*, 82, **1999**, 5265.
- [155] E.Schaar-Gabriel, N.Alonso-Vante, H. Tributsch *Surf.Science*, 366, **1996**, 508.
- [156] K.M. Glassford, J.R. Chelikowsky *Phys.Rev.B*, 46, **1992**, 1284.
- [157] R. Asahi, Y. Taga, W. Mannstadt, A.F. Freeman *Phys.Rev.B*, 61, **2000**, 7459.
- [158] H.Tang, F.Levy, P.E.Schmid *Phys.Rev.B*, 52, **1995**, 7771.
- [159] S.D. Mo, W.Y. Ching *Phys.Rev.B*, 51, **1995**, 13023; L.B.Lin, S.D.Mo, D.L. Lin. *J.Phys.Chem.Solids*, 54, **1993**, 907.
- [160] R. Schaub, E. Wahlström, A. Ronnau, E. Laegsgaard, I. Stensgaard, F. Besenbacher *Science*, 299, **2003**, 377.
- [161] W. Göpel, J.A. Anderson, D. Frankel, M. Jähnig, K. Phillips, J. Schafer, G. Rocker *Surf.Sci.*, 139, **1984**, 333.
- [162] A.F. Carley, P.R. Chalker, J.C. Riviere, M.W. Roberts *J.Chem.Soc.Faraday.Trans.*, 83, **1987**, 351; B.W Veal, A.P. Paulikas *Phys.Rev.* 31, **1985**, 5399.
- [163] A.N. Shultz, W. Jang, W.M. Hetherington, D.R. Baer, L.Q. Wang, M.H. Engelhard *Surf.Sci.*, 339, **1995**, 114.
- [164] R.H. Tait, R.V. Kasowski *Phys.Rev.*, 20, **1979**, 5178.
- [165] Z. Zhang, S.P. Jeng, V.E. Henrich *Phys.Rev.B*, 43, **1991**, 12004.
- [166] M.L. Knotek, P.J. Feibelman *Phys.Rev.Lett.*, 49, **1978**, 964.
- [167] D.W. Fischer *Phys.Rev.B*, 5, **1972**, 4219; L.A. Grunes *Phys.Rev.B*, 27, **1983**, 2111.
- [168] V. Duzhko, V.Y. Timoshenko, F. Koch, Th. Dittrich *Phys.Rev.B*, 64, **2001**, 075204; B. Mahrov, G. Boschloo, A. Hagfeldt, L. Dloczik, Th. Dittrich *Appl.Phys.Lett.*, 84, **2004**, 5455.
- [169] Th. Dittrich, B. Neumann, H. Tributsch *J.Phys.Chem.C*, 111, **2007**, 2265.
- [170] Th. Dittrich *Phys.Rev.B*, 73, **2006**, 1.
- [171] J.Pascual, J. Camassel, H. Mathieu *Phys.Rev.B*, 18, **1978**, 5606; J. Pascual, J. Camassel, H. Mathieu *Phys.Rev.Lett.*, 39, **1977**, 1490.
- [172] A.G. Thomas, W.R. Flavell, A.R. Kumarasinghe, A.K. Mallick, D. Toutsou, G.C. Smith, R. Stockbauer, S. Patel, M. Grätzel, R. Hengerer *Phys.Rev.B*, 67, **2003**, 035110.
- [173] O.I. Micic, Y. Zhang, K.R. Cromack, A.D. Trifunac, M.C. Thurnauer *J.Phys.Chem.*, 97, **1993**, 7277 + 13284.
- [174] D.C. Hurum, A.G. Agrios, K.A. Gray, T. Rajh, M.C. Thurnauer *J.Phys.Chem.B*, 107, **2003**, 4545.
- [175] H. Tributsch *Electrochimica Acta*, 49, **2003**, 153; H. Tributsch, G. Schlichthörl, L. Elstner *Electrochimica Acta*, 38, **1993**, 141.
- [176] P.M. Kumar, S. Badrinarayanan, M. Sastry *Thin Solid Films*, 358, **2000**, 122.
- [177] H. Jensen, A. Soloviev, Z. Li, E.G. Sogaard *Appl.Surf.Sci.*, 246, **2005**, 239.
- [178] J.C. Yu, J. Yu, W. Ho, Z. Jian, L. Zhang *Chem.Mater.*, 14, **2002**, 3808.
- [179] A. Solbrand, H. Lindström, H. Rensmo, A. Hagfeldt, S.E. Lindquist, S. Södergren *J.Phys.Chem.B*, 101, **1997**, 2514.
- [180] J. Choi, R.B. Wehrspohn, J. Lee, U. Gösele *Electrochim. Acta*, 49, **2004**, 2645; M. Paulose, G.K. Mor, O.K. Varghese, K. Shankar, C.A. Grimes *J.Photochem.Photobiol.A*, 178, **2006**, 8.
- [181] C.Kormann, D.W.Bahnemann, M.R. Hoffmann *J.Phys.Chem.*, 92, **1988**, 5196.
- [182] L.W. Miller, M.I.T. Tejedor, M.A. Anderson *Environ. Technol.*, 33, **1999**, 2070; D.H. Kim, M.A. Anderson *J.Photochem.Photobiology A*, 94, **1996**, 221; D.H. Kim, M.A. Anderson *Environ.Sci. Technol.* 28, **1994**, 479.
- [183] B. Kraeutler, A.J. Bard *J.Am.Chem.Soc.*, 100, **1978**, 5985.

- [184] M. Bideau, B. Claudel, L. Faure, M. Rachimoallah *J.of Photochem.*, 39, **1987**, 107.
- [185] T.M. Wang, S.K. Zheng, W.C. Hao, C. Wang *Surface and Coatings Tech.*, 155, **2002**, 141.
- [186] I.M. Sero, T.L. Villarreal, J. Bisquert, A. Pitarch, R. Gomez, P. Salvador *J.Phys.Chem.B*, 109, **2005**, 3371; T.L.Villarreal, R. Gomez, M.N. Spallart, N. Alonso-Vante, P. Salvador *J.Phys.Chem.B*, 108, **2004**, 15172 u. 20278.
- [187] P. Bogdanoff, N. Alonso-Vante *J.Electroanalytical Chem.*, 397, **1994**, 415.
- [188] M.A. Fox, *Photoinduced Electron Transfer, Part D*, Elsevier, 1988, S. 299ff.
- [189] I. Langmuir *Trans.Faraday Soc.*, 17, **1921**, 621.
- [190] P.V. Kamat *Chem.Rev.*, 93, **1993**,267.
- [191] F.P. Schwarz, J.N. Turro, S.H. Bossmann, A.M. Braun, A. Wahab, H.J. Dürr *J.Phys.Chem.B*, 101, **1997**,7127; M. Anpo, T. Shima, Y. Kubokawa *Chem.Lett.*, **1985**, 1799.
- [192] J. Fan, T.J. Yates *J.Am.Chem.Soc.*, 118, **1996**, 4686.
- [193] R. Nakamura, Y. Nakato *J.Am.Chem.Soc.*, 126, **2004**, 1290; R. Nakamura, Y. Nakato *J.Am.Chem.Soc.*, 125, **2003**, 7443.
- [194] A. Hrussanova, E. Guerrini, S. Trasatti *J.Electroanalyt.Chem.*, 406 , **2003**, 157.
- [195] A. Henglein, W. Schnabel, J. Wendenburg, *Einführung in die Strahlenchemie*, Verlag Chemie, 1969.
- [196] H.G. Grimm, A. Sommerfeld *Zeitschrift für Physik*, 36, **1926**, 36.
- [197] A. Zunger, S.B. Zhang, S.H. Wei *IEEE-Trans.Elec.Dev.*, 26, **1997**, 313; H. Neumann *Cryst.Res.Technol.*, 18, **1983**, 901.
- [198] S. Schuler, *Transporteigenschaften und Defekte in polykristallinen CuGaSe<sub>2</sub> Schichten und Heterostrukturen*, Dissertation, Fachbereich Physik, FU-Berlin **2002**.
- [199] B. Karunagaran, R.T.R. Kumar, D. Mangalaraj, S.K. Narayandass, G.M. Rao *Cryst.Res.Technol.*, 37/38, **2002/2003**, 1285/773.
- [200] M. Hesse, H. Meier, B. Zeeh *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*, 6.Auflage, Thieme Verlag 2002.
- [201] T. Ohsaka, F. Izumi, Y. Fujiki *J.Raman Spectroscopy*, 7, **1978**, 321; S.P.S. Porto, P.A. Fleury, T.C. Damen *Phys.Rev.*, 154, **1967**, 522.
- [202] M. Ivanda, K. Furic, S. Music, M. Ristic, M. Gotic, D. Ristic, A.M. Tonejc, I. Djerdj, M. Mattarelli, M. Montagna, F. Rossi, M. Ferrari, A. Chiasera, Y. Jestin, G.C. Righini, W. Kiefer, R.R. Goncalves *J.Raman Spectroscopy*, 38, **2007**, 647.
- [203] K.R. Zhu, M.S. Zhang, Q. Chen, Z. Yin *Phys.Lett.A*, 340, **2005**, 220.
- [204] R.S. Katiyar, R.S. Krishnan *Phys.Lett.A*, 25, **1967**, 525.
- [205] S.H. Shin, R.L. Aggarwal, B. Lax *Phys.Rev.B*, 9, **1974**, 583.
- [206] F. Bierau, *Elektrische und optische Eigenschaften von TiO<sub>2</sub>*, Diplomarbeit, FU-Berlin, **2006**.
- [207] S.J. Gregg, K.S.W. Sing, *Adsorption, Surface Area and Porosity*, 2.Ed., Academic Press (London), 1982.
- [208] K.D. Benkstein, N. Kopidakis, J.v.de Langenmaat, A.J. Frank *J.Phys.Chem.B*, 107, **2003**, 7759.
- [209] H. Meyer, *Physik dünner Schichten*, Wiss. Verlags-Gesellschaft, 1950, Stuttgart.
- [210] R. Klenk, *Polykristalline CuGaSe<sub>2</sub>-Dünnschichten für die Photovoltaik - Herstellung und Charakterisierung von Absorbern und Heteroübergängen*, Dissertation, Fakultät: Elektrotechnik, Universität Stuttgart, 1993.
- [211] L. Kronik, Y. Shapira *Surface Science Reports*, 37, **1999**, 37.
- [212] V. Duzhko, V.Yu. Timoshenko, F. Koch, Th. Dittrich *Phys.Rev.B*, 64, **2001**, 075204; Dissertation V. Duzhko, *Photovoltage Phenomena in nanoscale materials*, TU-München, **2002**.

- [213] B. Radim, B. Neumann, S. Sakthivel, M. Janczarek, Th. Dittrich, H. Tributsch, H. Kisch *Chemical Physics*, **2007**, doi:10.1016/j.chemphys.2007.05.022.
- [214] J. Heinze *Angewandte Chemie*, **96**, **1984**, 823.
- [215] H. Schulenburg, S. Stankov, V. Schünemann, J. Radnik, I. Dorbandt, S. Fiechter, P. Bogdanoff, H. Tributsch *J.Phys.Chem.B*, **107**, **2003**, 9034.
- [216] Degussa AG, Datenblatt  $TiO_2 - P25$ , www.degussa.de (16.03.2007)
- [217] P. Salvador, C. Gutierrez *Chem.Phys.Lett.*, **86**, **1982**, 131.
- [218] A. Mills, M.A. Valenzuela *J.Photochem.Photobiol.A: Chemistry*, **165**, **2004**, 25.
- [219] J. Nelson *Phys.Rev.B*, **59**, **1999**, 15374.
- [220] J. Keeney, D.H. Weinstein, G.M. Haas *Nature*, **253**, **1975**, 719.
- [221] A. Hagen, A. Barkschat, J.K. Dohrmann, H. Tributsch *Sol.Energy Mat.u.Solar Cells*, **77**, **2003**, 1.
- [222] A.J. Nozik *Nature*, **257**, **1975**, 383.
- [223] Y. Nakato, H. Akanuma, J. Shimizu, Y. Magari *J.Electroanal.Chem.*, **396**, **1995**, 35.
- [224] T. Kisumi, A. Tsujiko, K. Murakoshi, Y. Nakato *J.Electroanal.Chem.*, **545**, **2003**, 99.
- [225] S.E. Lindquist *J.Photochem,Photobiol.A*, **164**, **2004**, 75.
- [226] S. Nakade, S. Kambe, T. Kitamura, Y. Wada, S. Yanagida *J.Phys.Chem.B*, **105**, **2001**, 9150.
- [227] R.I. Bickley *J.Solid.State.Chem.*, **92**, **1991**, 178.
- [228] D.C. Hurum, A.G. Agrios, K.A. Gray, T. Rajh, M.C. Thurnauer *J.Phys.Chem.B*, **107**, **2003**, 4545.
- [229] F. Fabregat-Santiago, G. Garcia-Belmonte, J. Bisquert, P. Bogdanoff, A. Zaban *J.Electrochem.Soc.*, **150**, **2003**, E293-E298.
- [230] J.M. Macak, H. Tsuchiya, P. Schmuki *Angew.Chem.*, **117**, **2005**, 2136.
- [231] H. Yoneyama, T. Torimoto *Catalysis Today*, **58**, **2000**, 133.
- [232] C.J. Brinker, Y. Lu, A. Sellinger, H. Fan *Adv.Mat.*, **11**, **1999**, 579.
- [233] G. Betz, R. Marchand, H. Tributsch *J.Appl.Electrochem.*, **14**, **1984**, 315.
- [234] S. Sakthivel, M. Janczarek, H. Kisch *J.Phys.Chem.B*, **108**, **2004**, 19384.
- [235] A.M. Roy, G.C. De, N. Samsal, S.S. Bhattacharya *Int.J.Hydrogen Energy*, **20**, **1995**, 627.
- [236] G. Garcia-Belmonte, V. Kytin, Th. Dittrich, J. Bisquert *J.Appl.Phys.*, **94**, **2003**, 5261.
- [237] J. Weidmann, Th. Dittrich, E. Konstantinova, I. Lauermann, I. Uhlendorf, F. Koch *Sol.Energy Mat. u. Solar cells*, **56**, **1999**, 153.
- [238] P. Triggs *Helvetica Physica Acta*, **58**, **1985**, 657.
- [239] S.H. Elder, F.M. Cot, Y. Su, S.M. Heald, A.M. Tyryshkin, M.K. Bowmann, Y. Gao, A.G. Joly, M.L. Balmer, A.C. Kolwaite, K.A. Magrini, D.M. Blake *J.Am.Chem.Soc.*, **122**, **2000**, 5138.
- [240] W. Zhang, Y. Li, S. Zhu, F. Wang *J.Vac.Sci.Technol.*, **A26**, **2003**, 1877.
- [241] W.J. Chun, A. Ishikawa, H. Fujisawa, T. Takata, J.N. Kondo, M. Hara, M. Kawai, y. Matsumoto, K. Domen *J.Phys.Chem.B*, **107**, **2003**, 1798.
- [242] A.J. Bard, R. Parson, J. Jordan, *Standard Potentials in Aqueous Solution*, IUPAC-Commission, M.Dekker-Verlag, **1985**.
- [243] H. Wang, T. Lindgren, J. He, A. Hagfeldt, S.E. Lindquist *J.Phys.Chem.B*, **104**, **2000**, 5686.
- [244] Y. Xu, M.A.A. Schoonen *American Mineralogist*, **85**, **2000**, 543.
- [245] T. Brezesinski, D.F. Rohlfling, S. Sallard, M. Antonietti, B.M. Smarsly *Small*, **2**, **2006**, 1203.
- [246] M.M. Qurashi, W.H. Barnes *J.Am.Mineralogist*, **37/38**, **1952/1953**, 423/489.

- [247] Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie, Vanadium, Teil B, Lieferung I, System Nr. 48, 1967, Verlag Chemie GMBH.
- [248] R. Jasinski *Nature*, 201, **1964**, 1212.
- [249] K.M. Kadish, K.M. Smith, R. Guilard *The Porphyrin Handbook*, (Elektrochemie: insbesondere Band 8) Academic Press, 2000.
- [250] S.L. Kelly, K.M. Kadish *Inorg.Chem.*, 21, **1982**, 3631.
- [251] T. Watanabe, K. Kobayashi, T. Sagara *Physiol.plant.*, 76/A147, **1990**, 3.
- [252] Prof. H. Tributsch, Bionik-Vorlesung, Wintersemester 2004/2005, FU-Berlin.
- [253] J. Huheey, E. Keither, R. Keither, *Anorganische Chemie, Prinzipien von Struktur und Reaktivität*, 2.Auflage, Walter de Gruyter Verlag, **1995**.
- [254] I. Herrmann, *Entwicklung und Optimierung neuer Präparationsverfahren für Übergangsmetall-basierte Elektrokatalysatoren für die Sauerstoffreduktion*, **2005**, Dissertation, Fakultät: Biologie, Chemie, Pharmazie, FU-Berlin.
- [255] R.D. Jones, D.A. Summerville, F. Basolo *J.Am.Chem.Soc.*, 100, **1978**, 4416.
- [256] L.J. Bocher *J.Am.Chem.Soc.*, 90/92, **1968/1970**, 6640/2725; D.G. Davis, J. Montalvo *Anal.Chem.*, 41, **1969**, 1195.
- [257] B. Meunier *Chem.Rev.*, 92, **1992**, 1411.
- [258] M.W. Peterson, D. Rivers, M.R. Richmann *J.Am.Chem.Soc.*, 107, **1985**, 2907.
- [259] L.O. Spreer, A. Leone, A.C. Maliyackel, J.W. Otvos, M. Calvin *Inorg.Chem.*, 27, **1988**, 2401.
- [260] E. Borgarello, J. Kiwi, E. Pelizzetti, M. Visca, M. Grätzel *J.Am.Chem.Soc.*, 103, **1981**, 6324.
- [261] A. Dekanski, J. Stefanovic, R. Stefanovic, B.Z. Nikolic, V.M. Jovanovic *Carbon*, 39, **2001**, 1195.
- [262] C.A. Kaufmann, A. Neisser, R. Klenk, R. Scheer *Thin Solid Films*, 480, **2005**, 515.
- [263] H. Gerischer, N. Sorg *Electrochimica Acta*, 37, **1992**, 827.
- [264] P. Spathis, I. Poullos *Corrosion Science*, 37, **1995**, 673; Q. Qu, C. Yan, Y. Wann, C. Cao *Corrosion Science*, 44, **2002**, 2789.
- [265] B.E. Johnson, *Optical and Electrical Optimization of a Photovoltaic Thin Film Membrane (CIGSe/TiO<sub>2</sub>)*, Diploma thesis, TU-Berlin, FB-Physik, 2006 .
- [266] R. Klenk *FVS-Workshop*, Berlin, 2005, Session III, S.79.
- [267] Y. Furubayashi, T. Hitosugi, Y. Yamamoto, K. Inaba, G. Kinoda, Y. Hirose, T. Shimada, T. Hasegawa *Appl.Phys.Lett.*, 86, **2005**, 252101.
- [268] Y. Xu, M.A.A. Schoonen *Am.Mineralogist*, 85, **2000**, 543.
- [269] A.L. Dawar, J.C. Joshi *J.Mat.Science*, 19, **1984**, 1.
- [270] K. Ellmer *Sol.State Phenomena*, 67, **1999**, 261.
- [271] L. Gawallek, C. Salzmann, J. Klaer, J. Bruns, M. Kanis, K. Ellmer *World PV-Conference*, Wien, **1998**; T. Unold, I. Sieber, K. Ellmer *App.Phys.Lett.*, 88, **2006**, 213502.
- [272] J. Thornton, D. Hoffmann *Thin Solid Films*, 17, **1989**, 5.
- [273] P. Löbl, M. Huppertz, D. Mergel *Thin Solid Films*, 251, **1994**, 72.
- [274] S.M. Lee, D.G. Cahill *Phys.Rev.B*, 52, **1995**, 253.
- [275] H. Wang, T. Wang, P. Xu *J.Mat.Science*, 9, **1998**, 327.
- [276] M.C. Barnes, S. Kumar, L. Green, N.M. Hwang, A.R. Gerson, *Surface and Coatings Technology*, 190, **2005**, 321.
- [277] L. Sheppard, T. Bak, J. Nowotny, C.C. Sorrell, S. Kumar, A.R. Gerson, M.C. Barnes, C. Ball *Thin Solid Films*, 510, **2006**, 119.
- [278] M.A. Ruiz, G. Dezanneau, J. Arbiol, A. Cornet, J.R. Morante *Chem. Mater.*, 16, **2004**, 862.



- [279] M. Valigi, D. Cordischi, G. Minelli, P. Natale, P. Porta, c.P. Keijzers *J.Solid State Chem.*, 77, **1988**, 255.
- [280] P.S. Dobal, A. Dixit, R.S. Katiyar, H. Choosuwan, R. Guo, A.S. Bhalla *J.Raman Spectroscopy*, 33, **2002**, 121.
- [281] P. Kuppusami, G. Vollweiler, D. Rafaja, K. Ellmer *Appl.Phys.A*, 80, **2005**, 183.
- [282] R. Kaltofen, I. Pagels, K. Schumann, J. Ziemann, *Tabellenbuch der Chemie*, Friedrich Vieweg und Sohn Verlag, 1958.
- [283] W. Xu, C.A. Angell *Science*, 302, **2003**, 422; P. Wasserscheid, W. Keim, *Angew.Chem.*, 112, **2000**, 3926.
- [284] H. Ohno *Electrochemical Aspects of Ionic Liquids*, Wiley-Interscience, 2005.
- [285] K.R. Gopidas, M. Bohorquez, P.V. Kamat *J.Phys.Chem.*, 94, **1990**, 6435.
- [286] G. Sasikala, S.M. Babu, R. Dhanasekaran *Mat.Chemistry and Physics*, 42, **1995**, 210.
- [287] O. Savadogo *Sol.Energy Mat. u. Solar Cells*, 52, **1998**, 361.
- [288] a) S.F. Valverde, E.R. Regil, R.V. Alvarado, R.R. Noriega, W.S. Feria *Int.J.Hydrogen Energy*, 22, **1997**, 581; b) E.R. Regil, S.F. Valverde, R.R. Noriega, O.S. Feria *J.Mat.Sci.*, 31, **1996**, 5347.
- [289] D. Cahen, Y.W. Chen *Appl.Phys.Lett.*, 45, **1984**, 746.
- [290] A.L. Alanis, J.R.V. Garcia, R. Rivera, S.M. Fernandez Valverde *Int.J.Hydrogen Energy*, 27, **2002**, 143.
- [291] W. Siripala, J. Vedel, D. Lincot, D. Cahen *Appl.Phys.Lett.*, 62, **1992**, 519.
- [292] K. Otte, G. Lippold, H. Neumann, A. Schindler *J.Physics and Chemistry of Solids*, 64, **2003**, 1641.

Die vorliegende Arbeit wurde im Hahn-Meitner Institut Berlin unter der Betreuung von Herrn Prof. H. Tributsch angefertigt. Die Arbeit wurde selbständig und ohne Benutzung anderer als den angegebenen Hilfsmitteln erstellt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Teile der Arbeit wurden bereits in Artikeln und auf Konferenzen veröffentlicht. Ein Veröffentlichungsverzeichnis ist dieser Arbeit beigelegt.

# Veröffentlichungen

- U. Lavrencic-Stangar, B. Orel, B. Neumann, E. Stathatos, P. Lianos *J. of Sol-Gel Science and Technology* 26, **2003**, 1113-1118.  
„A Sol-Gel Type of Electrolyte for a Dye Sensitized Solar Cell: Attenuated Total Reflection (ATR) Vibrational Spectra Studies“.
- B. Neumann, P. Bogdanoff, S. Sakthivel, H. Kisch, H. Tributsch, *J. Phys. Chem. B*, 109, **2005**, 16579-16586.  
„Electrochemical Mass Spectroscopic and Surface Photovoltage Studies of Catalytic Water Photooxidation by Undoped and Carbon Doped Titania“.
- H. Tributsch, B. Neumann, *Int. J. of Hydrogen Energy* 32, **2007**, 2679-2688.  
„Material Research Challenges towards a Corrosion Stable Photovoltaic Hydrogen Generating Membrane“.
- Th. Dittrich, B. Neumann, H. Tributsch, *J. Phys. Chem. C*, 111(5), **2007**; 2265-2269.  
„Sensitization via reversibly inducible  $Ru(dcbpyH_2)_2(NCS)_2-TiO_2$  charge transfer complex“.
- R. Beranek, B. Neumann, S. Sakthivel, M. Janczarek, Th. Dittrich, H. Tributsch, H. Kisch; *Chemical Physics*, **2007**, doi:10.1016/j.chemphys.2007.05.022.  
„Exploring the Electronic Structure of Nitrogen-Modified  $TiO_2$  Photocatalysts through Photocurrent and Surface Photovoltage Studies“.
- *Konferenz* - WREC-World Renewable Energy Congress, Aberdeen, Schottland, Mai, 2005; 2 Vorträge.  
„Electrochemical and capacitive Photovoltage Studies of catalytic water oxidation with different structured  $TiO_2$  electrodes “ und „Electrochemical and capacitive Photovoltage Studies of catalytic water oxidation by undoped and carbon doped  $TiO_2$ “
- *Konferenz* - GdCH-Jahrestagung 2005, Düsseldorf, Deutschland, 1 Poster.  
„Investigation of the Photocatalytic Activity of Nanostructured  $TiO_2$  electrodes“
- *Konferenz* - IPS-16, International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Uppsala, Schweden, 2 Poster.  
„Development of a  $TiO_2/Cu(In, Ga)Se_2/TiO_2$  photoelectrochemical Membrane for light driven fuel generation“ und „On the possible origin of Ruthenium-sensitizer stability - Photoinduced attachment?“
- *Konferenz* - Faraday Discussions 138, Birmingham, England, 2007.  
„Nb-doped  $TiO_2$  Layers as Optical Windows for Solar cells“.

# Lebenslauf (gekürzt)

*Name:* Bernhard Neumann  
*Geburtsjahr:* 1978  
*Staatsangehörigkeit:* deutsch

# Danksagung

Zuerst möchte ich Herrn Prof. H. Tributsch ganz herzlich dafür danken, dass er mir die Arbeit auf dem Gebiet der Photokatalyse und der photoelektrochemischen Solarzellen ermöglicht hat und er mir dabei in vielen Situationen ein guter Mentor war. Immer wenn ich danach fragte fand sich die Zeit, um Arbeiten, Fragen oder aufgetretene Probleme zu besprechen. Die regelmäßigen Aufmunterung zum Halten der „Große Linie“ taten sehr gut und gaben Selbstvertrauen. Auch ist mir das Themengebiet selbst so sehr ans Herz gewachsen, dass ich in Zukunft weiter meinen Beitrag dazu leisten möchte.

Dr. Thomas Dittrich möchte ich für seine intensive und freundschaftliche Unterstützung bei den SPV-Messungen herzlich danken. Aus unsere Gesprächen habe ich nicht nur Neues Wissen gezogen, sondern auch viel über das Leben als Wissenschaftler und als Familienvater erfahren. Dr. Peter Bogdanoff möchte ich für die Einführung in die (D)EMS und die experimentelle Cyclovoltametrie danken. Am Rande seiner BZ-Kat-Arbeitsgruppe habe ich mich sehr wohl und aufgehoben gefühlt. Im gleichen Atemzug sind diesbezüglich natürlich auch Iris Dorbandt, Dr. Iris Herrmann, Ulrike Koslowski, Dr. Christa Krämer, Dr. Gerald Zehl, Christian Tötze, Dr. Gerrit Schmithals und Anne Havemann zu nennen. Die Geburtstagskuchen-Essen, die Betriebsausflüge und die Weihnachtsfeiern werden mir in guter Erinnerung bleiben. Dr. Sebastian Fiechter möchte ich für die Hilfestellung bei den Pulver-XRD- und DTG/DTA-Messungen sowie für die mehrfache Unterstützung bei der Organisation finanzieller Mittel für die EMS-Erweiterung meinen Dank aussprechen. Meinem langjährigen Büro-Partner Dr. Markus Thomalla möchte ich für die gemeinsamen Ausschweifungen über weltliche Dinge und die gemeinsame „Sonderfahrt“ Fahrt nach Stettin danken. Stefan Brunken gilt mein Dank für die gemeinsamen Unternehmungen in Potsdam -*Nichts geht mehr nach Callingasta*- und für die tolle Sylvesterfeier 2006/2007. Es war lange her, dass ich wieder einmal so ausgelassen feiern konnte.

Dr. Christian Alexander Kaufmann danke ich für die bereitgestellten CIGSe-Solarzellen, für das Korrekturlesen, sowie für seine stetige Bereitschaft, meine vielen Fragen zu beantworten. Aber auch die „Neverending-Story“ werde ich sobald nicht vergessen, denn mein erstes graues Haar geht bestimmt darauf zurück. Dr. Bernd Smarsly möchte ich für die intensive Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm/Potsdam und die vielen gemeinsamen Diskussionen herzlich danken. Herrn Dr. Klaus Ellmer möchte ich für die Einführung in die Festkörpersynthese nach Physiker-Art, d.h. den Plasma-gestützten Filmabscheidungen, danken. Ich möchte mich dabei auch für die gründliche Überarbeitung einzelner Abstracts und Poster bedanken. Nicht unerwähnt bleiben sollen Dr. M. Kanis, Dr. U. Bloeck, A. Kurzweil, K. Regelin und M. Guerra für die Hilfe bei XPS-, REM-, Technik- und Verwaltungsangelegenheiten. Herrn Prof. Klaus Christmann möchte ich für die Übernahme des Zweit-Gutachtens dieser Arbeit danken.

Neben dem „Institutsleben“ gab es zum Glück auch ein Zuhause und seit kurzem auch meine, eigene kleine Familie dazu. Beate möchte ich für ihre immerwährende Unterstützung und das

geduldigen Zuhören meiner Sorgen und Probleme danken. Auch Stefan, Luis und Antonio sollen hier ihren Platz finden, denn die gemeinsamen Unternehmungen in den vergangenen Jahren gaben Kraft und die von Zeit zu Zeit nötige Ablenkung. Natürlich möchte ich an dieser Stelle auch meinen Eltern sowie meinem Bruder Jürgen nicht unerwähnt lassen, die oft mit einem Rat, einem Zuspruch und als Vorbild für mich da waren.