

7. Anhang

7.1 Literaturverzeichnis

- Aberle 92 A. G. Aberle, S. Glunz, W. Warta,
Journal of Applied Physics, 71 (1992), 4422
- Aberle 95 A. G. Aberle, T. Lauinger, J. Schmidt, R. Hezel
Applied Physics Letters, 66 (1995), 2828
- Aberle 96 A. G. Aberle, J. Schmidt, R. Brendel,
Journal of Applied Physics, 79 (1996), 1491
- Baden Fuller 90 A. J. Baden Fuller, „Microwaves: An Introduction to Microwave
Theory and Techniques“, Pergamon Press (1990)
- Balk 88 P. Balk, „The Si – SiO₂ System“, Elsevier (1988)
- Brattain 53 W. H. Brattain, J. Bardeen,
The Bell System Technical Journal, 32 (1953), 1
- Brendel 95a R. Brendel, Applied Physics A, 60 (1995), 523
- Brendel 95b R. Brendel, M. Wolf, 13th European Photovoltaic Solar Energy
Conference (1995), 428
- Bruns 93 J. Bruns, Dissertation, Fachbereich Elektrotechnik der
TU Berlin (1993)
- Cuevas 97 A. Cuevas, R. A. Sinton, Progress in Photovoltaics:
Research and Applications, 5 (1997), 79
- De Visschere 86 P. De Visschere, Solid-State Electronics, 29 (1986), 1161
- Elmiger 97a J. R. Elmiger, Dissertation,
Fachbereich Physik der FU Berlin (1997)
- Elmiger 97b J. R. Elmiger, R. Schieck, M. Kunst,
Journal of Vacuum Science and Technology A, 15 (1997), 2418
- Engl 83 W. L. Engl, H. K. Dirks, B. Meinerzhagen,
Proceedings of the IEEE, 71 (1983), 10
- Fonash 81 S. J. Fonash, „Solar Cell Device Physics“, Academic Press (1981)
- Frankl 65 D. R. Frankl, Surface Science, 3 (1986), 101

- Füssel 96 W. Füssel, M. Schmidt, H. Angermann, G. Mende, H. Flietner, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A, 377 (1996), 177
- Fujihira 93 C. Fujihira, M. Morin, H. Hashizume, J. Friedt, Y. Nakai, M. Hirose, Japanese Journal of Applied Physics, 32 (1993), 1362
- Garrett 55 C. G. B. Garrett, W. H. Brattain, Physical Review, 99 (1955), 376
- Gaubas 96 E. Gaubas, J. Vanhellefont, Journal of Applied Physics, 80 (1996), 6293
- Gaubas 97 E. Gaubas, A. Kaniava, J. Vaitkus, Semiconductor Science and Technology, 12 (1997), 1
- Girisch 88 R. P. M. Girisch, R. B. Mertens, R. F. De Keersmaecker IEEE Transactions on Electron Devices, 35 (1988), 203
- Glunz 94 S. W. Glunz, A. B. Sproul, W. Warta, W. Wettling, Journal of Applied Physics, 75 (1994), 1611
- Goetzberger 94 A. Goetzberger, B. Voß, J. Knobloch, „Sonnenenergie: Photovoltaik“, Teubner (1994)
- Green 90 M. A. Green, Journal of Applied Physics, 67 (1990), 2944
- Green 95 M. A. Green, M. J. Keevers, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 3 (1995), 189
- Gummel 64 H. K. Gummel, IEEE Transactions on Electron Devices, 11 (1964), 455
- Hack 83 M. Hack, M. Shur, Journal of Applied Physics, 54 (1983), 5858
- Hall 51 R. N. Hall, Physical Review, 83 (1951), 228
- Hilleringmann 96 U. Hilleringmann, „Silizium-Halbleitertechnologie“, Teubner (1996)
- Jackson 75 J. D. Jackson, „Classical Electrodynamics“, John Wiley & Sons (1975)
- Kern 70 W. Kern, D. A. Puotinen, RCA Review, 31 (1970), 187
- Kern 90 W. Kern, Journal of the Electrochemistry Society (1990), 1887
- Kölzow 95 C. Kölzow, Diplomarbeit, Fachbereich Physik der FU Berlin (1995)
- Kolodinski 94 S. Kolodinski, J. H. Werner, H. J. Queisser, Solar Energy Materials and Solar Cells, 33 (1994), 275
- Kramer 95 M. Kramer, R. Schieck, M. Kunst, 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference (1995), 451
- Kunst 86 M. Kunst, G. Beck, Journal of Applied Physics, 60 (1986), 3558
- Kunst 88 M. Kunst, G. Beck, Journal of Applied Physics, 63 (1988), 1093

-
- Kunst 92a M. Kunst, „Forschungsverbund Sonnenenergie: Themen 91/92“,
ISSN 0939-7582 (1992)
- Kunst 92b M. Kunst, A. Sanders,
Semiconductor Science and Technology, 7 (1992), 51
- Lauinger 96 T. L. Lauinger, J. Schmidt, A. G. Aberle, R. Hezel,
Applied Physics Letters, 68 (1996), 1232
- Macdonald 75 J. R. Macdonald, Journal of Applied Physics, 46 (1975), 4602
- Mock 83 M. S. Mock, „Analysis of Mathematical Models of Semiconductor
Devices“, Boole Press (1983)
- Mostarshed 96 S. Mostarshed, R. B. Darling,
Journal of Applied Physics, 79 (1996), 3115
- Mui 95 D. S. L. Mui, L. A. Coldren,
Journal of Applied Physics, 78 (1995), 3208
- Nicollean 82 E. H. Nicollean, J. R. Brews,
„MOS Physics and Technology“, John Wiley & Sons (1982)
- Ogita 96 Y.-I. Ogita, Journal of Applied Physics, 79 (1996), 6954
- Ostendorf 97 H.-C. Ostendorf, A. L. Endrös,
Applied Physics Letters, 71 (1997), 3275
- Otaredian 93a T. Otaredian, Solid-State Electronics, 36 (1993), 163
- Otaredian 93b T. Otaredian, Solid-State Electronics, 36 (1993), 905
- Paul 76 R. Paul, „Halbleiterdioden“, VEB Verlag Technik (1976)
- Poerschke 91 R. Poerschke, O. Madelung, „Data in Science and Technology:
Semiconductors“, Springer (1991)
- Rees 85 G. J. Rees, Solid-State Electronics, 28 (1985), 517
- Robinson 95 S. J. Robinson, S. R. Wenham, P. P. Altermatt, A. G. Aberle,
G. Heiser, M. A. Green,
Journal of Applied Physics, 78 (1995), 4740
- Scharfetter 69 D. L. Scharfetter, H. K. Gummel,
IEEE Trans. Electron Devices, 16 (1969), 64
- Schaumburg 91 H. Schaumburg, „Halbleiter“, Teubner (1991)
- Schieck 97 R. Schieck, M. Kunst, Solid-State Electronics 41 (1997), 1755
- Schmidt 97 J. Schmidt, A. G. Aberle,
Journal of Applied Physics, 81 (1997), 6186
- Schöfthaler 95 M. Schöfthaler, R. Brendel,
Journal of Applied Physics, 77 (1995), 3162

- Schönecker 96 A. Schönecker, J. A. Eikelboom, A. R. Burgers, P. Lölgen, C. Leguijt, W. C. Sinke, *Journal of Applied Physics*, 79 (1996), 1497
- Schuurmans 97 F. M. Schuurmans, A. Schönecker, A. R. Burgers, W. C. Sinke, *Applied Physics Letters*, 71 (1997), 1795
- Selberherr 84 S. Selberherr, „Analysis and Simulation of Semiconductor Devices“, Springer (1984)
- Shaw 91 J. G. Shaw, M. Hack, P. G. LeComber, M. Willums, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 137&138 (1991), 1233
- Shimura 89 F. Shimura, „Semiconductor Silicon Crystal Technology“, Academic Press (1989)
- Shockley 50 W. Shockley, „Electrons and Holes in Semiconductors“, Van Nostrand (1950)
- Shockley 52 W. Shockley, W. T. Read, *Physical Review*, 87 (1952), 835
- Simmons 71 J. G. Simmons, G. W. Taylor, *Physical Review B*, 4 (1971), 502
- Sinton 96 R. A. Sinton, A. Cuevas, *Applied Physics Letters*, 69 (1996), 2510
- Sproul 91 A. B. Sproul, M. A. Green, *Journal of Applied Physics*, 70 (1991), 846
- Stephens 96 A. W. Stephens, M. A. Green, *Journal of Applied Physics*, 80 (1996), 3897
- Stöckmann 55 F. Stöckmann, *Zeitschrift für Physik*, 143 (1955), 348
- Swiatkowski 95 C. Swiatkowski, A. Sanders, K.-D. Buhre, M. Kunst, *Journal of Applied Physics*, 78 (1995), 1763
- Sze 81 S. M. Sze, „Physics of Semiconductor Devices“, John Wiley & Sons (1981)
- Taylor 72 G. W. Taylor, J. G. Simmons, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 8-10 (1972), 940
- Van Roosbroeck 50 W. V. Van Roosbroeck, *Bell System Technical Journal*, 29 (1950), 560
- Wang 89 S. Wang, „Fundamentals of Semiconductor Theory and Device Physics“, Prentice Hall (1989)
- Watanabe 94 K. Watanabe, *Semiconductor Science and Technology*, 9 (1994), 370
- Watanabe 96 K. Watanabe, *Semiconductor Science and Technology*, 11 (1996), 1713
- Yan 97 Y. Yan, *Applied Physics Letters*, 71 (1997), 407

7.2 Symbolverzeichnis

Hier sind die meisten der verwendeten Symbole tabelliert. Ihre Dimension kann von den gebräuchlichen Einheiten abweichen. So wird z.B. die Dicke L des Siliziums in μm und nicht in m angegeben.

Symbol	Beschreibung	Dimension
a	Hohlleiterinnenmaß	m
A	Fresnel-Koeffizient	1
a_1, a_3	Parameter der Zustandsdichte (Oberfläche)	$\text{m}^{-2} \cdot \text{J}^{-1}$
a_2	Parameter der Zustandsdichte (Oberfläche)	J
b	Hohlleiterinnenmaß	m
c_0	Vakuum-Lichtgeschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
c_n	SRH-Ratenparameter für Elektronen (Volumen)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
c_p	SRH-Ratenparameter für Löcher (Volumen)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
c_{SRH}	SRH- Ratenparameter (Volumen)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
d	Länge der Raumladungszone	m
d	Durchmesser des Laserspots auf der Probe	m
D_n	Diffusionskonstante der Elektronen	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
D_p	Diffusionskonstante der Löcher	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
E	Energie eines Trap-Niveaus	J
\vec{E}	elektrisches Feld	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$
E_C	Energie des Leitungsbandes	J
E_F	Fermi-Energie im thermodynamischen Gleichgewicht	J
E_{gap}	Energielücke	J
E_n	Quasi-Ferminiveau der Elektronen	J
E_p	Quasi-Ferminiveau der Löcher	J
E_{Ph}	Photonenenergie	J
E_V	Energie des Valenzbandes	J
f	Korrekturfaktor	1
f_0	Fermi-Funktion im thermodynamischen Gleichgewicht	1
f_A	Besetzungsfunktion der Akzeptor-Traps (Oberfläche)	1

f_D	Besetzungsfunktion der Donator-Traps (Oberfläche)	1
f_T	Besetzungsfunktion der Volumen-Traps	1
G	optische Generationsrate	$m^{-3} \cdot s^{-1}$
h	Plancksche Wirkungsquantum	$J \cdot s$
\bar{H}	magnetisches Feld	$A \cdot m^{-1}$
j	(Gesamt-) Strom	$A \cdot m^{-2}$
j_n	Elektronenstrom	$A \cdot m^{-2}$
j_p	Löcherstrom	$A \cdot m^{-2}$
kT	Boltzmann-Faktor	J
L	Dicke des Siliziums	m
m	FRMC-Modulationswert	1
n	Elektronenkonzentration im Leitungsband	m^{-3}
N	Zustandsdichte (Oberfläche)	$m^{-2} \cdot J^{-1}$
N	Anzahl der Rasterpunkte	1
n_0	n im thermodynamischen Gleichgewicht	m^{-3}
n_1	SRH-Abkürzung	m^{-3}
N_A	Akzeptor-Zustandsdichte (Oberfläche)	$m^{-2} \cdot J^{-1}$
N_C	effektive Zustandsdichte im Leitungsband	m^{-3}
N_D	Donator-Zustandsdichte (Oberfläche)	$m^{-2} \cdot J^{-1}$
N_{dot}	Konzentration der ionisierten Dotieratome	m^{-3}
n_i	intrinsische Ladungsträgerkonzentration	m^{-3}
N_T	Zustandsdichte der Volumentraps	m^{-3}
n_{trap}	getrapte Elektronendichte (Oberfläche)	m^{-2}
N_V	effektive Zustandsdichte im Valenzband	m^{-3}
p	Löcherkonzentration im Valenzband	m^{-3}
P	Lichtintensität	$W \cdot m^{-2}$
p_0	p im thermodynamischen Gleichgewicht	m^{-3}
p_1	SRH-Abkürzung	m^{-3}
P_{abs}	absorbierte Mikrowellenleistung	W
P_{in}	eingestrahle Mikrowellenleistung	W
P_{max}	Lichtintensität im Maximum des TRMC-Pulses	$W \cdot m^{-2}$

P_{ref}	reflektierte Mikrowellenleistung	W
P_{trap}	getrappte Löcherdichte (Oberfläche)	m^{-2}
q	Elementarladung	C
Q_{fix}	Dichte der festen Oxid- bzw. Nitridladungen	m^{-2}
\vec{r}	Ortsvektor	m
r	Reflexion	1
R	Reflexionsfaktor	1
R	stationäre Rekombinationsrate (Volumen)	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
$r_1 \dots r_4$	SRH-Übergangsraten	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
R_n	Rekombinationsrate der Elektronen (Volumen)	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
R_p	Rekombinationsrate der Löcher (Volumen)	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
R^S	stationäre Rekombinationsrate (Oberfläche)	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
R^{vol}	Volumenrekombinationsrate (räumlich gemittelt)	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
R_n^S	Rekombinationsrate der Elektronen (Oberfläche)	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
R_p^S	Rekombinationsrate der Löcher (Oberfläche)	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
s	Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
s^*	effektive Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
\tilde{s}	differentielle Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
t	Zeit	s
U	gesamte Rekombinationsrate (räumlich gemittelt)	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
U	Spannung	V
U_{Ph}	Photospannung	V
U^S	virtuelle Oberflächenrekombinationsrate	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
x, y, z	Komponenten des Ortsvektors \vec{r}	m
α	Absorptionskoeffizient	m^{-1}
α	Iterationsindex	1
δ_c	SRH-Ratenparameter geladener Übergänge (Oberfläche)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
δ_n	SRH-Ratenparameter neutraler Übergänge (Oberfläche)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Δn	Überschußkonzentration der freien Elektronen	m^{-3}
Δp	Überschußkonzentration der freien Löcher	m^{-3}
$\Delta\sigma$	Photoleitfähigkeit	$(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$

Δt	Zeitintervall	s
ϵ_0	elektrische Feldkonstante	C / (V · m)
ϵ_r	relative Dielektrizitätskonstante	1
ϕ	Photonenflußdichte	m ⁻² · s ⁻¹
γ	Ausbreitungskonstante	m ⁻¹
Γ	Reflexionskoeffizient	1
λ	Lichtwellenlänge	m
λ	Hohlleiterwellenlänge	m
μ_0	magnetische Feldkonstante	V · s / (A · m)
μ_n	Beweglichkeit der Elektronen	m ² / (V · s)
μ_p	Beweglichkeit der Löcher	m ² / (V · s)
ν	Mikrowellenfrequenz	s ⁻¹
ν	FRMC-Modulationsfrequenz	s ⁻¹
ρ	Ladungsdichte	C · m ⁻³
ρ	spezifischer Widerstand	$\Omega \cdot m$
σ	Grenzflächenladung	C · m ⁻²
σ	Leitfähigkeit	($\Omega \cdot m$) ⁻¹
τ	echte Lebensdauer	s
τ_{eff}	effektive Lebensdauer	s
τ_n	SRH-Lebensdauer der Elektronen (Volumen)	s
τ_p	SRH-Lebensdauer der Löcher (Volumen)	s
τ_S	Oberflächenlebensdauer	s
τ_{SRH}	SRH-Lebensdauer (Volumen)	s
τ_{vol}	Volumenlebensdauer	s
τ^*	differentielle Lebensdauer	s
Ψ	elektrisches Potential	V
Ψ_S	Oberflächenbandverbiegung	V

7.3 Danksagung

Zum Gelingen der Dissertation, die für den Verfasser ein großer, für die Menschheit jedoch nur ein kleiner Schritt ist, haben mehrere Personen beigetragen. Ihnen sei an dieser Stelle gedankt.

Die Betreuung dieser Arbeit wurde in der Endphase von Dr. Marinus Kunst übernommen. Die wissenschaftlichen Diskussionen in entspannter Atmosphäre waren unentbehrlich. Marinus, vielen Dank!

Dr. L. Elstner stand mir für Fragen, die im Rahmen der Programmentwicklung auftraten, stets zur Seite.

Prof. Dr. W. Brewer und Prof. Dr. D. Bräunig sei für die Bereitschaft gedankt, sich als Gutachter und Ansprechpartner zur Verfügung zu stellen, noch bevor von dieser Arbeit auch nur eine einzige Zeile geschrieben war.

Die Präparation der Proben wurde von G. Keiler, R. Boelke, B. Rabe, D. Patzek und J. Krause übernommen. Die CV- und SPV- Charakterisierungen führten B. Steudel und Dr. K. Kliefoth aus der Arbeitsgruppe von Dr. W. Füssel durch.

Dr. Rainer Eichberger und Herbert Moegelin waren mir beim Verändern des FRMC-Meßplatzes behilflich.

Das inhaltliche Korrekturlesen des vierten Kapitels übernahm Dr. Rudi Brüggemann.

Auf die Suche nach Rechtschreibfehlern begaben sich Silke Uhlmann, Torsten Rentel und Christian Meißner. Dies gibt dem Verfasser die Möglichkeit, auf sie zu verweisen, falls nicht alle Fehler beseitigt sein sollten.

Zwei Sätze werden mir sicherlich in Erinnerung bleiben. Der eine stammt von Prof. Dr. W. Brewer, als mich wissenschaftliche Zweifel überkamen: „Herr Hahneiser, dort ist etwas, wir müssen es nur finden.“ Der andere stammt von Dr. Hubert Vogler beim Genuß eines Traubensaftes (hell und vergoren): „Es gibt ein Leben nach der Promotion.“

7.4 Lebenslauf

- 07.07.1968 geboren in Krefeld-Uerdingen
- 09/1974 - 06/1987 Schulzeit in Berlin (Abschluß: Abitur)
- 10/1987 Beginn des Physikstudiums an der FU Berlin
- 01/1993 - 12/1993 Diplomarbeit bei Siemens (Medizintechnik) in Erlangen
Thema: Entwicklung und Erprobung einer SQUID-Sensor-
anordnung zur Messung biomagnetischer Felder
- 04/1994 Beendigung des Studiums an der FU Berlin (Abschluß: Diplom)
- 10/1994 - 03/1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Hahn-Meitner-Institut
in Berlin-Adlershof und Berlin-Wannsee