

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter im Fachgebiet Optoelektronik der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg. Das dieser Arbeit zugrundeliegende Verbundvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01 IN 501 G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. D. Jäger, dem Leiter des Fachgebietes Optoelektronik, für die intensive wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit und seine ständige Diskussionsbereitschaft, die sehr zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben. Bei Herrn Professor B. Hosticka Ph.D. bedanke ich mich für die Übernahme des Koreferates.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dipl.-Ing. R. Buß, Akademischer Rat im Fachgebiet Optoelektronik. Mein Dank gilt seinem unermüdlichen Einsatz, sowohl in der Initiierungsphase des Vorhabens, wodurch diese Arbeit erst ermöglicht wurde, als auch während der Anfertigung der Arbeit. Seine stets vorhandene Bereitschaft zur Unterstützung bei technischen und wissenschaftlichen Problemen war sehr hilfreich für mich.

Den Herren Dipl.-Ing. R. Hedtke, Dipl.-Ing. T. Stockhausen, Dipl.-Ing. M. Meininger und Dipl.-Ing. T. Baumeister gebührt mein Dank für ihre Unterstützung, die sie in Form von Studien- und Diplomarbeiten geleistet haben.

Wesentliche Beiträge dieser Arbeit sind aus der Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus anderen Instituten und Fachgebieten entstanden.

Im Mittelpunkt stehen hier die gemeinsamen Arbeiten mit den Projektpartnern des Verbundvorhabens Retina Implant (EPI-RET). Bedanken möchte ich mich im Besonderen bei den Herren Dr.-Ing. S. Kolnsberg, Dipl.-Ing. T. Kneip und A. Preuss vom Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg für ihre Hilfe bei der Simulation und dem Erstellen des Lay-

outs der CMOS-Empfangselektronik sowie für das Bonden der fertigen Chips in IC-Gehäuse. Den Herren Dr.-Ing. T. Stieglitz, Dipl.-Ing. H. Beutel, Dipl.-Ing. R. Keller und W. Haberer vom Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik in St. Ingbert danke ich für den Zusammenbau der Empfängerstrukturen. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. T. Laube von der Universitäts-Augenklinik der GH Essen für die Kooperation bei der Durchführung von Experimenten an Kaninchenaugen.

Bei den Herren Dr. K. Köhler und J. Schaub vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg bedanke ich mich für die Bereitstellung von epitaktischen Schichtstrukturen. Den Herren Dr.-Ing. W. Daumann und U. Doerk vom Fachgebiet Halbleitertechnik/Halbleitertechnologie danke ich für die Hilfe bei der Durchführung von Schichtdickenmessungen sowie für das Bonden von optoelektronischen Empfängern in IC-Gehäuse. Mein Dank gilt außerdem Herrn Professor Dr. P. Laws vom Fachgebiet Nachrichtentechnik für die Bereitstellung eines Bitmuster-generators und Frau B. Brox aus diesem Fachgebiet für die Herstellung von Photolithographiemasken.

Den Mitarbeitern des Fachgebietes Optoelektronik danke ich für die gute Zusammenarbeit und die stets vorhandene Hilfsbereitschaft. Mein besonderer Dank gilt hier Herrn Dipl.-Phys. D. Püttjer für sein Engagement bei der Durchsicht dieses Manuskripts und Frau V. Schedwill für ihre Hilfe bei der technologischen Herstellung von Bauelementen. Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Reg. Ang. U. Gappa und Frau Reg. Ang. K. Tempel, die mich in allen Verwaltungsangelegenheiten kompetent unterstützt haben.

Ganz besonders bedanke ich mich bei allen Personen, die mir geholfen haben, hier aber unerwähnt geblieben sind.

Schließlich danke ich ganz herzlich meinen Eltern, die mir durch ihre fortlaufende Unterstützung und Anteilnahme bei der Anfertigung dieser Arbeit sehr geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Konstanten und Abkürzungen	V
1 Einleitung	1
2 Netzhaut-Implantat: EPI-RET	7
2.1 Überblick	7
2.2 Anforderungen: Biologische und technische Randbedingungen	12
2.3 Realisierungskonzept der optischen Übertragungsstrecke	13
3 Optische Signal- und Energieübertragung	17
3.1 Signalübertragung	17
3.1.1 Sender	17
3.1.2 Übertragungsmedium	24
3.1.3 Empfänger	30
3.2 Energieübertragung	39
3.2.1 Sender	39
3.2.2 Übertragungsmedium	43
3.2.3 Empfänger	44
3.3 Simultane Signal- und Energieübertragung	46
3.3.1 Sender	46
3.3.2 Übertragungsmedium	47
3.3.3 Empfänger	48
4 Experimentelle Messtechnik	49
4.1 Spektrale Messungen	49
4.2 Kennlinien-Messplatz	51
4.3 Systemtest	52

5	Komponenten zum Aufbau einer Signal- und Energieübertragungs- strecke	55
5.1	Senderschaltung	55
5.2	Signal- und Energiesender	59
5.3	Strahlformungsoptik.....	60
5.4	Signal- und Energieempfänger	63
5.5	Empfängerschaltung	80
6	Simultane Signal- und Energieübertragung	88
6.1	Einbau in ein Netzhaut-Implantat Gesamtsystem.....	88
6.2	Experimentelle Ergebnisse	91
7	Zusammenfassung	97
	Literaturverzeichnis	101

Formelzeichen, Konstanten und Abkürzungen

Formelzeichen	Bezeichnung
A	Fläche einer Photodiode
B	Bandbreite einer Photodiode
C_S	Sperrschichtkapazität
d	Dicke der i-Schicht einer Photodiode
D	Diffusionskonstante
f	Frequenz, allgemein
f_D	Datenfrequenz
f_T	Taktfrequenz
FF	Füllfaktor
I	Strom, allgemein
$\langle i^2_{Rausch} \rangle$	Mittlerer quadratischer Rauschstrom
$\langle i^2_{Schrot} \rangle$	Mittlerer quadratischer Rauschstrom des Schrotrauschens
$\langle i^2_{Signal} \rangle$	Mittlerer quadratischer Signalstrom
$\langle i^2_{therm} \rangle$	Mittlerer quadratischer Rauschstrom des thermischen Rauschens
i_{Ph}	Von einer Photodiode generierter Photostrom
I_D	Drainstrom
I_{max}	Strom bei der maximalen Leistungsabgabe einer photovoltaischen Zelle
I_{opt}	Optische Intensität
I_{PD}	Photostrom einer Detektorphotodiode
I_{PVZ}	Von dem PVZ-Array bereitgestellter Strom
I_{sc}	Kurzschlussstrom
L	Diffusionslänge
l	Gate-Länge eines nmos-Transistors
m	Geradensteigung, allgemein
$n, n(\lambda)$	Isotroper Brechungsindex, allgemein
P_{opt}	Optische Leistung

r	Abstand des Signal- und Energieempfängers von der Augendrehachse
R_R	Widerstand, durch den der Rauschstrom fließt
R_L	Lastwiderstand
R_P	Parallelwiderstand
R_S	Serienwiderstand
S/N	Signal/Rausch-Verhältnis
SNR	Signal/Rausch-Verhältnis als Pegelmaß
t	Zeit, allgemein
t_A	Antwortzeit einer Photodiode
t_{Diff}	Diffusionszeiten von Ladungsträgern, die außerhalb der Raumladungszone einer Photodiode erzeugt werden
t_{Drift}	Ladungsträgerdriftzeit durch die Raumladungszone einer Photodiode
t_{RC}	RC-Zeitkonstante
T	Temperatur, allgemein
$T_{\bar{U}}$	Transmission des Übertragungsmediums
U	Spannung, allgemein
U_{DS}	Drain-Source-Spannung
U_{LD}	Spannung über dem Präzisionswiderstand R der Senderschaltung
U_{max}	Spannung bei der maximalen Leistungsabgabe einer photovoltaischen Zelle
U_{oc}	Leerlaufspannung
U_{PVZ}	Von dem PVZ-Array bereitgestellte Spannung
U_{var}	Betriebsspannung der Senderschaltung
$V(z)$	Optische Vergrößerung, allgemein
v_{Drift}	Driftgeschwindigkeit
$w_0, w(z)$	Fleckradius
$w_{0,5}$	Halbwertsradius
w	Gate-Weite eines nmos-Transistors
x	Ortskoordinate, allgemein
x	Als Indizierung: Aluminiumgehalt
y	Ortskoordinate, allgemein

z	Ortskoordinate, allgemein
z_R	Rayleigh-Länge
$\Delta\nu$	Relevantes Frequenzintervall für die Berechnung von Rauschströmen
ε	Dielektrizitätszahl
η	Wirkungsgrad, allgemein
λ	Wellenlänge, allgemein
μ	Beweglichkeit
φ	Augendrehwinkel
θ	Divergenzwinkel

Konstanten**Bezeichnung**

e	Elementarladung
k	Boltzmann-Konstante
ε_0	Dielektrizitätskonstante

Abkürzungen**Bezeichnung**

AC	Alternating Current
AMD	Altersbedingte Makuladegeneration
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DC	Direct Current

DIL	Dual In Line
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
EE	Empfangselektronik
FC	Fibre Connector
FhG-IAF	Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik
FhG-IMS	Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme
FhG-IBMT	Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik
FPGA	Field Programmable Gate Array
GND	Masse (Ground)
IOL	Intraokulare Linse
IR	Infrarot
IrDA	Infrared Data Association
LAN	Local Area Network
LD	Laserdiode
MAN	Metropolitan Area Network
MBE	Molecular Beam Epitaxy
MOS	Metal Oxide Semiconductor
MPD	Monitorphotodiode
PD	Photodiode
PVZ	Photovoltaische Zelle
RE	Retina-Encoder
RP	Retinitis Pigmentosa
RS	Retina-Stimulator
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
S&E-E	Signal- und Energieempfänger
SMD	Surface Mounted Device
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
StE	Stimulationselektronik
TTL	Transistor-Transistor-Logik
UHV	Ultrahochvakuum
UV	Ultraviolett
VDD	Versorgungsspannung
WAN	Wide Area Network