

Silizium Nanoribbon Feld-Effekt Transistoren zur Kopplung an elektroaktive Zellen

Michael Jansen

Forschungszentrum Jülich GmbH
Peter Grünberg Institute Institute of Complex Systems (PGI/ICS)
Bioelectronics (PGI-8/ICS-8)

Silizium Nanoribbon Feld-Effekt Transistoren zur Kopplung an elektroaktive Zellen

Michael Jansen

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Schlüsseltechnologien / Key Technologies

Band / Volume 82

ISSN 1866-1807

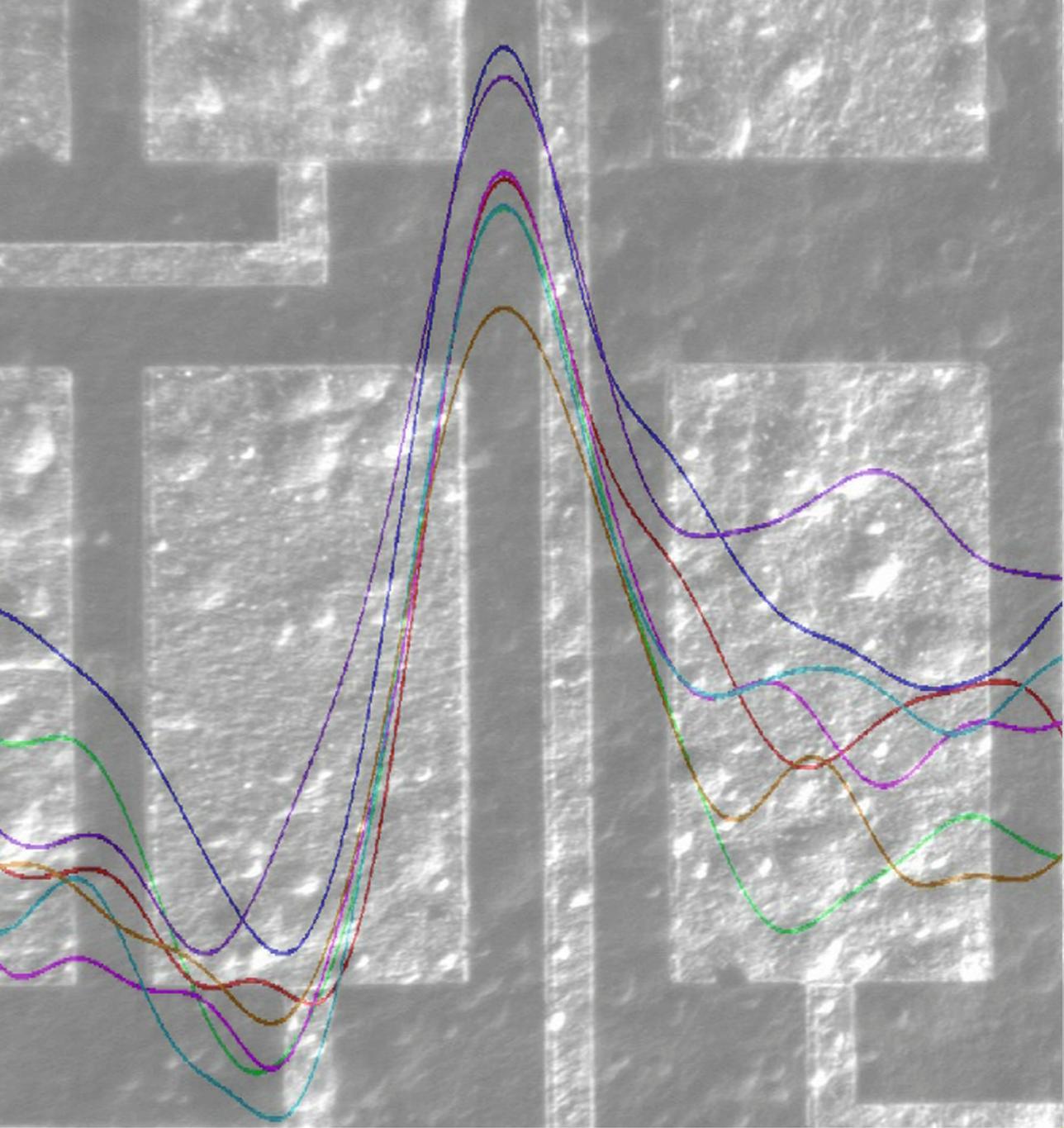
ISBN 978-3-89336-944-7

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xii
1 Einleitung	1
1.1 Entwicklung der Halbleitertechnik	2
1.2 Entwicklung der Methoden in der Elektrophysiologie	3
1.3 Entwicklung mikro- und nanostrukturierter Biosensoren	4
1.4 Einordnung des Themas dieser Doktorarbeit	5
2 Theoretische Grundlagen	7
2.1 Der Metall Oxid Feld-Effekt Transistor (MOSFET)	7
2.2 Wechselwirkungen eines Festkörpers mit einer Elektrolytlösung	16
2.2.1 Die Gouy-Chapman-Stern-Graham Doppelschicht	16
2.2.2 Das side-binding Modell	21
2.3 Der ionensensitive Feld-Effekt Transistor (ISFET) als Biosensor	25
2.4 Elektrophysiologie elektrisch aktiver Zellen	29
2.4.1 Die Zellmembran	29
2.4.2 Ionen-transport durch die Zellmembran	31
2.4.3 Die elektro-chemische Signalausbreitung	34
2.4.4 Die Signalausbreitung in Zellnetzwerken	35
2.4.5 Das elektrische Ersatzschaltbild der Zellmembran	39
3 Material und Methoden	41
3.1 Der Herstellungsprozess der NRFETs	41
3.1.1 Thermische Oxidation	42
3.1.2 Ellipsometrie	44
3.1.3 Optische Lithographie (Photolithographie)	45
3.1.4 Ätztechniken	48
3.1.5 Verkapseln der Chips	50

3.2	Elektrische Messungen	52
3.2.1	Das Verstärkersystem BioMAS	52
3.2.2	Elektrische Charakterisierung der SiNRFETs	53
3.2.3	Charakterisierung des Rauschens	54
3.3	NRFETs als Biosensoren	55
3.3.1	Detektion von pH-Werten	55
3.3.2	Elektrophysiologische Messungen	56
3.4	Software zur Datenauswertung	58
4	Ergebnisse	59
4.1	Design und Fabrikation der SiNRFETs	59
4.1.1	Der Prozessablauf	59
4.1.2	Chipdesign	63
4.1.3	Chipfabrikation	66
4.2	Elektrische Charakterisierung der NRFETs	82
4.2.1	Die NRFETs des ersten Durchlaufs	82
4.2.2	Die Charakterisierung der Al/Si Kontakte	83
4.2.3	Die NRFETs der Prozessdurchläufe D2-D4 - Steuerung über das Frontgate	88
4.2.4	Die NRFETs der Prozessdurchläufe D2-D4 - Steuerung über das Backgate	106
4.3	Charakterisierung des Rauschens	110
4.4	Softwarefilter zur Unterdrückung des Rauschens	115
4.4.1	Tiefpassfilter	116
4.4.2	Hochpassfilter	118
4.4.3	Bandpassfilter	120
4.4.4	Minimal detektierbare Signale	121
4.5	NRFETs als Biosensoren	123
4.5.1	Detektion von pH-Werten	123
4.5.2	Aktionspotentiale von Herzmuskelzellen	124
4.5.3	Dopaminausschüttung von PC-12 Zellen	130
4.5.4	Aktionspotentiale von Rattenneuronen	132
5	Diskussion	135
5.1	Diskussion des Herstellungsprozesses der NRFETs	135
5.2	Diskussion der elektrischen Charakterisierung der NRFETs	138
5.3	Diskussion der Charakterisierung des Rauschens der NRFETs	141
5.4	Diskussion der NRFETs als Biosensoren	141
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	145
Anhang		149
1	Verwendete Geräte und Materialien	150
2	Zellkultur der HL-1 Zellen	152

3	Zellkultur von Neuronen	153
4	Rezepte der pH Lösungen	154
	Literaturverzeichnis	157
	Danksagung	177
	Lebenslauf	179
	Eigenständigkeitserklärung	181



Schlüsseltechnologien / Key Technologies
Band / Volume 82
ISBN 978-3-89336-944-7

