



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Siliziumbasierte MOSFETs und deren Einsatz bei hohen Temperaturen	5
2.1	Physikalische Grundlagen	6
2.1.1	Ladungsträgerdichten im thermischen Gleichgewicht	6
2.1.2	Ladungsträgerdichten in dotierten Halbleitern	7
2.1.3	<i>Fermi</i> -Potenzial	8
2.1.4	Ladungsträgerbeweglichkeit	9
2.1.5	pn-Übergang	10
2.2	Laterales MOSFET Konzept	14
2.2.1	Strom-Spannungs-Charakteristik	14
2.2.2	Temperaturverhalten	17
2.2.3	Silicon on Insulator Technologie	20
2.3	Vertikales MOSFET Konzept	23
2.3.1	Temperaturstabile vertikale npn-MOSFETs	24
2.3.2	Temperaturstabile vertikale nipin-MOSFETs	25
2.4	Vergleich der MOSFET-Konzepte	27
3	Der Floating Gate FET Sensor	29
3.1	Funktionsprinzip	30
3.2	Standard FGFET Sensor	31
3.3	Hochtemperatur-FGFET Sensor	32
4	Aufbau der Bauelemente	33
4.1	Lateraler Transistor	34
4.2	Vertikaler Transistor	35



4.3	Hochtemperatur-FGFET Gassensor	36
4.3.1	Transducer	36
4.3.2	Obere Elektrode	38
4.3.3	Layout des Transducer-Chips	38
5	Grundlagen der Halbleitertechnologie	41
5.1	Thermische Oxidation	42
5.1.1	Ofenprozesse und Rapid Thermal Oxidation (RTO)	42
5.1.2	Oxidation von dotierten Siliziumschichten	43
5.2	Gasphasenabscheidung von Silizium	44
5.2.1	Der Abscheideprozess aus der Gasphase	44
5.2.2	Anlage zur Gasphasenabscheidung von Silizium	47
5.2.3	Silizium-Quellsubstanzen	49
5.2.4	Dotanden	51
5.2.5	Silizium-Germanium (SiGe)	53
5.2.6	Substratvorbehandlung und -reinigung	54
5.2.7	Kristallqualität epitaktisch gewachsener Schichten	58
5.2.8	Abscheidung von polykristallinem Silizium	64
5.3	Gasphasenabscheidung von dielektrischen Schichten	65
5.3.1	Gasphasenabscheidung von Siliziumoxid	65
5.3.2	Gasphasenabscheidung von Siliziumnitrid	66
5.4	Abscheidung von metallischen Schichten	67
5.5	Diffusion	69
5.6	Lithographie	71
5.6.1	Fotolacktechnik	71
5.6.2	Lithographieprozess	72
5.7	Ätztechnik und nasschemische Reinigung	74
5.7.1	Nasschemische Ätzprozesse	74
5.7.2	Nasschemische Reinigungsverfahren	76
5.7.3	Trockenchemische Ätzprozesse	77
6	Prozessentwicklung zum vertikalen MOSFET und FGFET Sensor	81
6.1	Substrate	83
6.2	Kondensatordielektrikum	86



6.2.1	Thermisches Oxid	86
6.2.2	Abscheideoxid	87
6.2.3	Thermisches Oxid und Abscheideoxid	88
6.2.4	BOX als Dielektrikum	88
6.3	Transistorstapel	90
6.3.1	Selektive Gasphasenabscheidung	90
6.3.2	Dotierung	91
6.3.3	nnp-Struktur	94
6.3.4	nipin-Struktur	95
6.3.5	pnp-Struktur	96
6.3.6	pn(SiGe)p-Struktur	100
6.3.7	Substratreinigung	104
6.3.8	Reinigung nach Umschleusung	108
6.4	Mesa und Freistellen	111
6.4.1	Lithographie	112
6.4.2	Trockenätzprozess	119
6.4.3	Freistellen durch TMAH	127
6.5	Gatedielektrikum	129
6.5.1	RTO-Prozesse	129
6.5.2	Thermisches Budget	130
6.5.3	Zwei-Schicht Gatedielektrikum	131
6.6	Poly-Silizium Gateelektrode	133
6.7	Passivierung	134
6.8	Metallisierung	135
7	Prozessentwicklung zum lateralen MOSFET	137
7.1	Substrate	139
7.2	Isolation und Poly-Silizium Gate	139
7.3	Dotierung durch Spin On Dopants	140
7.3.1	Niedertemperatur-Temperung	140
7.3.2	Hochtemperatur-Diffusion	141
7.3.3	Diffusionsmaske	142
7.4	Passivierung und Metallisierung	143



8	Charakterisierung der Transistoren	145
8.1	Messaufbau	146
8.2	Laterale Transistoren	147
8.2.1	Messungen bei Raumtemperatur	147
8.2.2	Temperaturverhalten lateraler MOSFETs	150
8.3	Vertikaler npn-MOSFET	153
8.3.1	Messungen bei Raumtemperatur	153
8.3.2	Temperaturverhalten vertikaler npn-MOSFETs	156
8.4	Vertikaler nipin-MOSFET	158
8.4.1	Messungen bei Raumtemperatur	158
8.4.2	Temperaturverhalten vertikaler nipin-MOSFETs	163
8.5	Vergleich der Bauelemente	166
9	Charakterisierung des FGFET Gassensors	169
9.1	Messaufbau	170
9.2	Arbeitspunkt	171
9.3	Gasmessung	172
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	175
A	Parameter verwendeter Prozesse	178
A.1	Oxidation und Temperung	178
A.2	Gasphasenabscheidung von Silizium	179
A.3	Abscheidodielektrika	180
A.4	Abscheidung metallischer Schichten	181
A.5	SOD-Abscheidung	182
A.6	Lithographie	182
A.7	Nasschemische Prozesse	184
A.8	Trockenchemische Ätzprozesse	186
B	Masken	188
B.1	Maskensätze	188
B.2	Wafermap lateraler MOSFET 2003	189
B.3	Wafermap IMOS 2007	191
B.4	Wafermap FGFET 2003	193



<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	IX
C Prozesspläne	194
C.1 Lateraler MOSFET	194
C.2 Vertikaler n _{ipin} -MOSFET	196
C.3 FGFET Sensor	197
Formelzeichen	199
Abkürzungen	203
Publikationen	219
Danksagung	223