Anhang

In den folgenden Abschnitten sind die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fertigungsprozesse als unmittelbar anwendbare Rezepte zusammengefaßt. In Anhang A sind die Parameter des Aufschleuderprozesses zur Erzielung verschiedener Resistschichtdicken tabellarisch aufgelistet. In Anhang B werden die unterschiedlichen Resistsysteme in bezug auf ihre Anwendung im Prozeß beschrieben. Anhang C enthält schließlich die vollständigen Prozeßparameter für die Halbleiterfertigungsprozesse wie, Gate-Recess, Mesa-Ätzung etc..

- **A** **Schichtdicken der verwendeten Resiste**
- **B** **Resistsysteme**
  - ∗ **B01** Einlagenprozeß (PMMA AR-P-950k.06)
  - ∗ **B02** Einlagenprozeß (ZEP 520, 2:1 verdünnt)
  - ∗ **B03** Einlagenprozeß (Probimide 408)
  - ∗ **B04** Einlagenprozeß (Pyralin PI 2737)
  - ∗ **B05** Zweilagenprozeß (PMMA/MAA AR-P-610.08, PMMA AR-P-950k.04)
  - ∗ **B06** Zweilagenprozeß (PMMA 1300k, PMMA 500k)
  - ∗ **B07** Zweilagenprozeß (ZEP 520, PMMA/MAA AR-P-610.08)
  - ∗ **B08** Dreilagenprozeß (PMMA AR-P-950k.04, PMMA/MAA AR-P-610.08, PMMA/MAA AR-P-610.08)
  - ∗ **B09** Dreilagenprozeß (PMMA AR-P-950k.02, PMMA/MAA AR-P-610.06, PMMA AR-P-50k.04)
  - ∗ **B10** Dreilagenprozeß (ZEP 520, PMMA/MAA AR-P-610.06, PMMA AR-P-50k.04)
- **C** **Halbleiterfertigungsprozesse**
  - ∗ **C01** Probenpräparation
  - * **C02** Mesa-Ätzung
  - ∗ **C03** Auf Zitronensäure basierender Gate-Recess-Prozeß
  - ∗ **C04** Auf Bernsteinsäure basierender Gate-Recess-Prozeß
  - ∗ **C05** Hybrid-Gate-Recess-Prozeß

A Schichtdicken der verwendeten Resiste

Resisttyp	Anlaufzeit $t_{s,an}$ / s	Schleuderzeit $t_{s,total}$ / s	Umdrehungen U / min^{-1}	Schichtdicke d_{sch} / nm
AZ5206 1:10[1)]	1	30	5000	10
AZ5206 1:40[2)]	1	30	5000	24
AZ5206 1:80[3)]	1	30	5000	5
AR-P 671.02	1	60	1500	160
	1	60	2000	130
	1	60	3000	110
	1	60	4000	100
	1	60	6000	77
	4	60	4000	113
	5	30	2000	138
	5	50	1500	165
	5	50	2000	145
AR-P 671.04	1	60	2000	440
	1	60	4000	290
	1	60	6000	245
	1	60	7000	225
AR-P 671.06	1	60	4000	742
AR-P 639.04	1	60	4000	100
AR-P 635.09	1	60	2000	335
	1	60	3000	270
	1	60	5000	247
	1	50	7000	295
	3	50	7000	316
AR-P 610.06	1	60	2000	390
	1	60	3000	315
	1	60	4000	295
	1	60	5000	240
	1	60	6000	225
	1	60	7000	210
	1	60	8000	200
	1	50	3000	330
	1	50	5000	290

[1)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 1 AZ5206, 10 AZ1500 Thinner

[2)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 1 AZ5206, 40 AZ1500 Thinner

[3)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 1 AZ5206, 80 AZ1500 Thinner

Resisttyp	Anlaufzeit $t_{s,an}$ / s	Schleuderzeit $t_{s,total}$ / s	Umdrehungen U / min^{-1}	Schichtdicke d_{sch} / nm
	5	60	5000	300
	5	60	6000	285
ARP 610.08	1	60	2000	670
	1	60	3000	535
	1	60	4000	455
	1	60	5000	408
	1	60	6000	367
	1	60	7000	350
	5	50	3000	565
	5	50	5000	485
ZEP520 unverdünnt	1	60	4000	390
	1	60	6000	310
ZEP520 1:1 verdünnt[4)]	1	60	1500	200
	1	60	3000	130
	1	60	6000	85
ZEP520 2:1 verdünnt[5)]	1	60	4000	190
	1	60	6000	160
Probimide 408	5	50	3000	875
	5	50	5000	580
PI 2737 unverdünnt	1	60	5000	1500
	1	60	6000	1350
	1	60	7000	1240
PI 2737 1:1 verdünnt[6)]	1	60	5000	351
PI 2737 2:1 verdünnt[7)]	1	60	5000	516
PMMA 500k	5	60	2000	450
	5	60	3000	400
	5	60	4000	370
PMMA 1300k	5	60	2000	250
	5	60	3000	230
	5	60	4000	200

[4)] Verdünnung nach Volumananteilen: 1 ZEP520, 1 ZEP Thinner S

[5)] Verdünnung nach Volumananteilen: 1 ZEP520, 2 ZEP Thinner S

[6)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 1 PI2737, 1 T9039 Thinner

[7)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 2 PI2737, 1 T9039 Thinner

Resisttyp	Anlaufzeit $t_{s,an}$ / s	Schleuderzeit $t_{s,total}$ / s	Umdrehungen U / min^{-1}	Schichtdicke d_{sch} / nm
PMMA 1300k	5	60	5000	170

B Resistsysteme

B01 Einlagenprozeß (PMMA AR-P-950k.06)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
AR-P 671.06	1	60	4000	742	30 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
135	30	500	629	15.25	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	60	20 - 22	< 10	nein	

B02 Einlagenprozeß (ZEP 520)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
ZEP 520, 2:1[2)]	1	60	4000	190	30 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
140	30	100	815	7.6	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
1:1	60	20 - 22	< 10	nein	

[2)] Verdünnung nach Volumananteilen: 1 ZEP520, 2 ZEP Thinner S

B03 Einlagenprozeß (Probimide 408)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
Probimide 408	5	50	5000	580	15 min, 110 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
70	30	100	6.519	30.51	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp HTR-D2	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
unverdünnt	30	20 - 22	< 10	3 h, 250 °C	

B04 Einlagenprozeß (Pyralin PI 2737)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
PI 2737, 2:1[4)]	1	60	5000	516	3 min, 95 °C
Belichtungsparameter					
D_0 [µCcm^{-2}]	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
7	30	100	6.519	99.18	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp HTR-D2	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
unverdünnt	30	20 - 22	< 10	3 h, 250 °C	

Achtung: Nach dem Post-bake ist bei Pyralin ein erheblicher Schichtdickenverlust zu beobachten!

[4)] Verdünnung nach Volumenanteilen: 2 PI2737, 1 T9039 Thinner

B05 Zweilagenprozeß (PMMA/MAA AR-P-610.08, PMMA AR-P-950k.04)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
[1)]AR-P 610.08	1	60	4000	295	30 min, 170 °C
[2)]AR-P 950.04	1	60	6000	245	30 min, 170 °C
Basis-Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
135	30	500	629	15.25	
Basis-Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	60	20 - 22	nein	nein	

B06 Zweilagenprozeß (PMMA 1300k, PMMA 500k)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
[1]PMMA 500k	5	60	3000	400	30 min, 170 °C
[2]PMMA 1300k	5	60	3000	230	30 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
160	30	500	745	15.25	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	145	20 - 22	< 10	nein	

B07 Zweilagenprozeß (ZEP 520, PMMA/MAA AR-P-610.08)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
[1]ZEP 520, 2:1	1	60	40000	190	5 min, 170 °C
[2]AR-P 610.08	1	60	2000	670	5 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
90	30	100	524	7.629	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	60	20 - 22	nein	nein	

B08 Dreilagenprozeß (PMMA AR-P-950k.04, PMMA/MAA AR-P-610.08, PMMA/MAA AR-P-610.08)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
AR-P 671.04	1	60	6000	245	30 min. 210 °C
AR-P 610.08	5	50	3000	565	30 min. 210 °C
AR-P 610.08	5	50	5000	485	30 min. 210 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
135	30	500	824	15.25	
70	10	500	824	15.25	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	60	20 - 22	nein	nein	

B09 Dreilagenprozeß (PMMA AR-P-950k.02, PMMA/MAA AR-P-610.06, PMMA AR-P-50k.04)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
AR-P 671.02	1	60	1500	160	30 min, 170 °C
AR-P 610.06	1	60	4000	295	30 min, 170 °C
AR-P 639.04	1	60	4000	100	30 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
90	30	100	524	7.629	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
3:1	60	20 - 22	nein	nein	

B10 Dreilagenprozeß (ZEP 520, PMMA/MAA AR-P-610.06, PMMA AR-P-50k.04)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
ZEP 520, 2:1[2)]	1	60	4000	190	30 min, 170 °C
AR-P 610.06	1	60	4000	295	30 min, 170 °C
AR-P 639.04	1	60	4000	100	30 min, 170 °C
Belichtungsparameter					
D_0 / µC(cm)$^{-2}$[2)]	U_{acc} / kV	I_B / mA	t_{dwell} / ns	d_{step} / nm	
140	30	100	815	7.629	
Entwicklungsparameter					
Entwicklertyp IPR : MIBK	Zeit t_{dev} / s	Temperatur T_{dev} / °C	IPR-Stop $t_{devstop}$ / s	Post-bake	
1:1	60	20 - 22	< 10	nein	

[2)] Verdünnung nach Volumananteilen: 1 ZEP520, 2 ZEP Thinner S

B11 Haftvermittlung (AZ5206)

Schleuderprozeßparameter					
Resisttyp	$t_{s,an}$ / s	$t_{s,total}$ / s	U / min^{-1}	d_{sch} / nm	Pre-bake
AZ5206 1:40[2]	1	30	5000	10	5 min, 95 °C

Abtragungsprozeß		
Ätzung	t_{etch} / s	Leistung / W
O_2-Plasma, isotrop	300	100

C Halbleiterfertigungsprozesse

C01 Probenpräparation

Die Probenpräparation im Anschluß an den Belichtungs- und Entwicklungsprozeß richtet sich nach dem verwendeten Resisttyp und nach dem Verhältnis von metallenen Oberflächen zu Halbleiteroberflächen. Dabei gilt allgemein:

a) Bei der Verwendung von säurehaltigen Resisten, wie z.B. Copolymere sind alkalische Lösungen (z.B. NH_3) im Rahmen der Probenpräparation zu vermeiden, da eine dissoziierende, chemische Wechselwirkung besteht!
b) Bei im Vergleich zur gesamten Halbleiteroberfläche großen metallischen Flächen auf dem Chip ist für die trockenchemische Probenpräparation ein anisotroper Plasmastrom dem isotropen stets vorzuziehen.

Naßchemische Probenpräparation

30 s Schwenkbad in NH_3-Lösung, H_2O : NH_3 (10:1) mit nachfolgend ausreichender DI-Wasser-Spülung (60 s).

Trockenchemische Probenpräparation (O_2-Plasma-Fluß, isotrop)

60 s bei einer HF-Leistung von 100 W.

Trockenchemische Probenpräparation (O_2-Plasma-Fluß, anisotrop)

8 s - 15 s bei einer HF-Leistung von 90 W, induzierte Gleichspannung $U_{ind} \approx$ 100 W, O_2-Fluß = 100 sccm, Umgebungsdruck P_{env} = 50 mTorr.

C02 Herstellung der Mesa-Struktur

Lithographie	B01-Einlagenprozeß
Probenpräparation	1. t_{PA} = 60 s, P_{PA} = 100 W 2. t_{KQ} = 30 s, I_{FB} = 30 mA, U_{acc} = 30 V
Mesa-Ätzung	Phosphorsäure (1:1:25)[5], t_{etch} = 60 s
Gold-Ätzung	temperierte, zyanidische Lösung[6] , t_{etch} = 45 s

[5] Verdünnung nach Volumenanteilen: 1 H_2O_2, 1 H_3PO_4, 25 H_2O

[6] Verdünnung nach Volumen- und Gewichtsanteilen: 1 (1 l H_2O, 20 g Degussa645 (Au-Strip), 10 g KCN), 1 H_2O

Für die Herstellung von Mesastrukturen wird im Rahmen des Lithographieprozesses der B01-Einlagenprozeß herangezogen (vgl. Anhang B). Vor der anschließenden Metallaufdampfung im Vakuumpumpstand (d_{Au} = 200 nm) erfolgt die Probenpräparation durch Veraschung und Deoxidierung in der Ionenquelle. Dann folgt der Lift-Off-Prozeß in erwärmtem Aceton und Propanol. Die eigentliche Mesa-Ätzung wird naßchemisch mit Hilfe von Phosphorsäure durchgeführt.

C03 Auf Zitronensäure basierender Gate-Recess-Prozeß

Lithographie	B09-Dreilagenprozeß
Probenpräparation 1	t_{PA} = 60 s, P_{PA} = 100 W
Gate-Recess-	Zitronensäure (1:1)[7], $t_{etch} \geq$ 45(300) s, T = 21(5) °C
Probenpräparation 2	t_{KQ} = 30 s, I_{FB} = 30 mA, U_{acc} = 30 V
Metall-evaporation	Pt (2 nm), Ti (30 nm), Pt (30 nm), Au (340 nm)
Lift-Off	temperiertes Aceton und Propanol

C04 Auf Bernsteinsäure basierender Gate-Recess-Prozeß

Lithographie	B01 / B06 / B09
Probenpräparation 1	t_{PA} = 60 s, P_{PA} = 100 W
Gate-Recess-	Bernsteinsäure (20:4:1)[8] , $t_{etch} \geq$ 300 s, T = 21 °C
Probenpräparation 2	t_{KQ} = 30 s, I_{FB} = 30 mA, U_{acc} = 30 V
Metall-evaporation	Pt (2 nm), Ti (30 nm), Pt (30 nm), Au (340 nm)
Lift-Off	temperiertes Aceton und Propanol

[7] Verdünnung nach Volumen- und Gewichtsanteilen: 1 (50 ml H_20, 50 g $C_6H_8O_7$), 1 H_2O_2

[8] Verdünnung nach Volumen- und Gewichtsanteilen: 20 (1 l H_20, 50 g $C_4H_6O_4$), 4 H_2O_2, 1 NH_3

C05 Hybrid-Gate-Recess-Prozeß

Lithographie	B07 / B10				
Proben-	Zeit / s	Fluß / sccm	Druck / mTorr	U_{DC} / V	Leistung / W
präparation 1 (O_2)	15	100	50	110	90
Gate-Recess 1	Zeit / s	Fluß / sccm	Druck / mTorr	U_{DC} / V	Leistung / W
(CCl_2F_2, Frigen 12)	30	8	8	210	120
Gate-Recess 2	Zeit / s	Temp. / °C			
$C_6H_8O_7$ basierend	300	22			
Proben-	Zeit / s		Druck / bar	I_F / mA	U_{acc} / V
präparation 2 (O_2)	60		$6 \cdot 10^{-4}$	30	30
Metallisierung	Pt (2 nm), Ti (30 nm), Pt (30 nm), Au (340 nm)				
Lift-Off	erwärmtes DMF[9)], Aceton und Propanol				

[9)] Di-Methyl-Formamid