

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
2 Grundlagen der Solarzellentechnologie	11
2.1 Prinzip einer Solarzelle	11
2.2 Strom-Spannungs-Kennlinie	12
2.3 Verlustmechanismen	15
2.3.1 Optische Verluste: Reflexion, Transmission und Absorption	15
2.3.2 Rekombinations- und Widerstandsverluste	18
2.4 Zellkonzepte	23
2.4.1 Methoden zur Verbesserung des Wirkungsgrades	23
2.4.2 Back Surface Field-Zelle	26
2.4.3 PERC- und PERL-Zelle	27
2.4.4 Grabenkontakt-Zelle	29
2.4.5 Sonstige Zellkonzepte	29
3 Methodik	31
3.1 Einleitung	31
3.2 Produktionstechnologien	33
3.3 Standardprozeß	36
3.3.1 Standardprozeß für siebdruckkontakteierte Solarzellen	36
3.3.2 Kostenanalyse	40
3.4 Bewertung und Priorisierung innovativer Technologien	43
3.5 Zusammenfassung und Ausblick	47
4 Schnelles thermisches Prozessieren zur Herstellung selektiver Emitter.....	49
4.1 Einleitung	49
4.2 Grundlagen der Diffusion und Oxidation	52
4.2.1 Thermodynamische Beschreibung der Diffusion	52
4.2.2 Atomistische Beschreibung der Diffusion	54
4.2.3 Beschleunigte Diffusion beim raschen thermischen Prozessieren	57
4.2.4 Dünne thermische Oxide	58
4.3 Alternative Herstellung selektiver Emitter	58
4.3.1 Photolithographisches Öffnen einer Diffusionsmaske	59
4.3.2 Grabenkontakt-Solarzellen	60
4.3.3 Selektiv gedruckte Diffusionssperren	61
4.3.4 Selektiv gedruckte Phosphorpaste	61
4.3.5 Laser-Tiefdotierung	62

4.3.6	Maskiertes RTP	63
4.3.7	Zurückätzen eines hoch-dotierten Emitters	63
4.3.8	Zwischenbewertung	64
4.4	Technologie.....	64
4.4.1	RTP-Diffusionsofen.....	64
4.4.2	Dotierstoffbelegung: Spin-On und Sieldruck	69
4.5	Solarzellensimulation	70
4.5.1	Simulationsmodell	70
4.5.2	Abschätzung des Potentials selektiver Emitter	73
4.5.3	Simulationsergebnisse	77
4.6	Diffusions- und Oxidationsprozesse	82
4.6.1	Prozessentwicklung für den Spin-On-Dotierstoff.....	82
4.6.2	Diffusionsprozeß für Sieldruck-Dotierstoffe	83
4.6.3	Oxidationsprozesse	85
4.6.4	Temperaturinhomogenität.....	85
4.7	Charakterisierung homogener Emitterprozesse	91
4.7.1	Schichtwiderstandsuntersuchung an homogenen Emittoren	92
4.7.2	Dotierprofilbestimmung.....	94
4.8	Charakterisierung selektiver Emitterprozesse	99
4.8.1	Einstufige selektive Emitter.....	99
4.8.2	Zweistufige selektive Emitter	105
4.9	Solarzellen	110
4.9.1	Solarzellenprozeß	110
4.9.2	Ergebnisse.....	114
4.10	Konzeption einer RTP-Durchlaufanlage	117
4.10.1	RTP-Durchlaufanlage	117
4.10.2	Prozeßkosten	118
4.10.3	Fazit und Ausblick	119
5	Siliciumnitrid-Doppel-Magnetron-Sputtern	121
5.1	Einleitung	121
5.2	Grundlagen	123
5.2.1	Siliciumnitrid	123
5.2.2	Antireflex-Schichten	124
5.2.3	Oberflächenpassivierung	126
5.2.4	Volumenpassivierung	128
5.3	Verfahren zur Herstellung dünner dielektrischer Schichten	128
5.3.1	Siliciumnitrid	128
5.3.2	Siliciumdioxid	129
5.3.3	Titandioxid	130
5.3.4	Zwischenbewertung	130

5.4 Sputter-Technologie	131
5.5 Sputterprozesse.....	135
5.6 Charakterisierung	136
5.6.1 Optische Schichteigenschaften	136
5.6.2 Bestimmung der effektiven ORG	137
5.6.3 FTIR-Analyse	138
5.7 Solarzellen.....	140
5.7.1 Solarzellen auf multikristallinem Silicium	140
5.7.2 Solarzellen auf monokristallinem Silicium	141
5.8 Konzeption eines Prototyps.....	143
5.8.1 Produktionsanlage.....	143
5.8.2 Prozeßkosten.....	144
5.8.3 Fazit und Ausblick.....	144
6 Laserunterstützte Kontaktierung von Solarzellen mit passivierter Rückseite	145
6.1 Einleitung	145
6.2 Grundlagen	148
6.2.1 PERC-Kontaktstruktur.....	148
6.2.2 Bekannte Laserverfahren in der Solarzellentechnologie	149
6.3 Alternative Technologien zur Rückseitenkontaktierung	150
6.3.1 Bor-BSF	150
6.3.2 Methoden zur Kontaktierung einer passivierten Rückseite	151
6.3.3 Zwischenbewertung	152
6.4 Technologie	153
6.4.1 Lasermikrostrukturierung	153
6.4.2 Excimer-Laser.....	157
6.4.3 Nd:YAG-Laser	158
6.4.4 Strukterzeugung	160
6.5 Laser-Prozesse	162
6.5.1 Excimer-Laser.....	162
6.5.2 Nd:YAG-Laser	164
6.5.3 Laserfeuern	168
6.5.4 Einsatz von Mikrolinsenfeldern zur Durchsatzerhöhung	169
6.6 Elektrische Charakterisierung	170
6.6.1 Teststruktur	170
6.6.2 Ladungsträgerlebensdauer	172
6.6.3 Widerstandsbestimmung	174
6.7 Solarzellen.....	177
6.7.1 Solarzellenprozeß	177
6.7.2 Ergebnisse	179

6.8 Konzeption eines Prototyps.....	182
6.8.1 Produktionsanlage.....	182
6.8.2 Prozeßkosten.....	184
6.8.3 Fazit und Ausblick.....	184
7 Zusammenfassung.....	187
Anhang A Abkürzungen und Nomenklatur.....	191
A.1 Verwendete Abkürzungen.....	191
A.2 Nomenklatur.....	193
Anhang B Charakterisierungsmethoden	195
B.1 Schichtwiderstandsmessung	195
B.2 Dotier-Profil-Messungen.....	196
B.2.1 Stripping-Hall-Messung (SH).....	196
B.2.2 Secondary-Ion-Mass-Spectroscopy (SIMS)	196
B.3 Lebensdauermessung	197
B.4 Strom-Spannungs-Kennlinienmessung	197
B.4.1 Hell-Kennlinienmessung	198
B.4.2 Dunkel-Kennlinienmessung	199
B.5 Reflexionsmessungen.....	199
B.6 Spektrale Empfindlichkeit.....	200
Anhang C Technologiebewertung	201
C.1 Bewertungsfunktionen	201
C.2 Bewertung der Sputtertechnologie.....	204
C.2.1 Kostenreduktionspotential	204
C.2.2 Umsetzungswahrscheinlichkeit	205
C.2.3 Positionierung im Portfolio.....	206
Anhang D Referenzen.....	207
Veröffentlichungen	223
Patente.....	224
Danksagung	225
Lebenslauf.....	229