

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 siebdruckkontaktierte 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 Emmitter.....	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-Diffusionsöfen	64
4.4.2	Dotierstoffbelegung: Spin-On und Siebdruck	69
4.5	Solarzellensimulation	70
4.5.1	Simulationsmodell	70
4.5.2	Abschätzung des Potentials selektiver Emitters	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 Siebdruck-Dotierstoffe	83
4.6.3	Oxidationsprozesse	85
4.6.4	Temperaturinhomogenität	85
4.7	Charakterisierung homogener Emittersprozesse	91
4.7.1	Schichtwiderstandsuntersuchung an homogenen Emittlern	92
4.7.2	Dotierprofilbestimmung	94
4.8	Charakterisierung selektiver Emittersprozesse	99
4.8.1	Einstufige selektive Emitters	99
4.8.2	Zweistufige selektive Emitters	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	Strukturherzeugung.....	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 Mikrolinsensfeldern 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	Lebensdauerermessung	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