

Innovative Produktionstechnologien für kristalline Silicium-Solarzellen

von
Ralf Preu

1. Auflage

Innovative Produktionstechnologien für kristalline Silicium-Solarzellen – Preu

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

ibidem 2001

Verlag C.H. Beck im Internet:

www.beck.de

ISBN 978 3 89821 127 7

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 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 Siebdruck	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 Siebdruck-Dotierstoffe	83
4.6.3	Oxidationsprozesse	85
4.6.4	Temperaturinhomogenität.....	85
4.7	Charakterisierung homogener Emitterprozesse	91
4.7.1	Schichtwiderstandsuntersuchung an homogenen Emitttern	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	Strukturerzeugung	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 Mikrolinsensefeldern 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